
Monitorización de la temperatura y la tensión

En circuitos de altas
prestaciones

Jorge Sanz Iglesias

Índice

1. Introducción

1.1. Descripción del trabajo

1.2. Importancia

1.3. Objetivos

1.4. Descripción del índice

2. Monitores

2.1. Introducción

2.2. Tipos de dispositivos

2.2.1. Microchip

2.2.1.1. TC650/ TC651

2.2.1.1.1. Características

2.2.1.1.2. Aplicaciones

2.2.1.1.3. Descripción general

2.2.1.1.4. Rango máximo de trabajo

2.2.1.2. TC652/TC653

2.2.1.2.1. Características

2.2.1.2.2. Aplicaciones

2.2.1.2.3. Descripción general

2.2.1.2.4. Rango máximo de trabajo

2.2.1.3. TC670

2.2.1.3.1. Características

2.2.1.3.2. Aplicaciones

2.2.1.3.3. Descripción general

2.2.1.3.4. Rango máximo de trabajo

2.2.1.4. Comparativa

2.2.2. On Semiconductor

2.2.2.1. ADT7470

2.2.2.1.1. Características

2.2.2.1.2. Aplicaciones

2.2.2.1.3. Descripción general

2.2.2.1.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.2.2. ADT7473

2.2.2.2.1. Características

2.2.2.2.2. Aplicaciones

2.2.2.2.3. Descripción general

2.2.2.2.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.2.3. ADT7490

2.2.2.3.1. Características

2.2.2.3.2. Aplicaciones

2.2.2.3.3. Descripción general

2.2.2.3.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.2.4. Comparativa

2.2.3. Texas Instruments

2.2.3.1. LM63

- 2.2.3.1.1. Características
- 2.2.3.1.2. Aplicaciones
- 2.2.3.1.3. Descripción general
- 2.2.3.1.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.3.2. LM64

- 2.2.3.2.1. Características
- 2.2.3.2.2. Aplicaciones
- 2.2.3.2.3. Descripción general
- 2.2.3.2.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.3.3. LM96163

- 2.2.3.3.1. Características
- 2.2.3.3.2. Aplicaciones
- 2.2.3.3.3. Descripción general
- 2.2.3.3.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.3.4. Comparativa

2.2.4. Maxim

2.2.4.1. MAX6641

- 2.2.4.1.1. Características
- 2.2.4.1.2. Aplicaciones
- 2.2.4.1.3. Descripción general
- 2.2.4.1.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.4.2. MAX6665

- 2.2.4.2.1. Características
- 2.2.4.2.2. Aplicaciones
- 2.2.4.2.3. Descripción general
- 2.2.4.2.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.4.3. MAX6668/MAX6670

- 2.2.4.3.1. Características
- 2.2.4.3.2. Aplicaciones
- 2.2.4.3.3. Descripción general
- 2.2.4.3.4. Rangos máximos de trabajo

2.2.4.4. Comparativa

2.2.5. Conclusión

3. Descripción del dispositivo utilizado: ADT7476A

3.1. Capacidades generales

- 3.1.1. Medición de la tensión de entrada
- 3.1.2. Medición de la temperatura
 - 3.1.2.1. Medida de la temperatura local
 - 3.1.2.2. Medida de la temperatura remota
- 3.1.2.3. Filtro de ruido
- 3.1.3. Medida de la velocidad
- 3.1.4. Límites, registros de estado e interruptores

3.2. Forma de utilización

- Paso 1: Configuración de hardware
- Paso 2: Configuración del multiplexor

- Paso 3: Configuración de T_{MIN} para calibración térmica
- Paso 4: PWM_{MIN} para cada salida PWM
- Paso 5: PWM_{MAX} para cada salida PWM
- Paso 6: T_{RANGE} para canales de temperatura
- Paso 7: T_{THERM} para canales de temperatura
- Paso 8: T_{HYST} para canales de temperatura

4. Aplicación práctica

4.1. Sistema de aplicación

- 4.1.1. Monitor ADT7476A
- 4.1.2. FPGA
- 4.1.3. Power PC
- 4.1.4. Placa
- 4.1.5. Alimentación (General 5V y FPGA)
- 4.1.6. Ventilador

4.2. Programa de aplicación

- 4.2.1. Script
 - 4.2.1.1. Monitorización de la tensión
 - 4.2.1.2. Monitorización de la temperatura
 - 4.2.1.3. Configuración del ventilador
 - 4.2.1.3.1. A toda velocidad
 - 4.2.1.3.2. Control manual
 - 4.2.1.3.3. Control automático
 - 4.2.1.4. Señales de interrupción
- 4.2.2. Entorno (Trace 32)
- 4.2.3. Debug

5. Conclusiones

6. Anexos

- 6.1. Anexo 1
- 6.2. Anexo 2
- 6.3. Anexo 3

1. Introducción

1.1. Descripción del trabajo

En el presente estudio sobre monitorización de temperatura y tensión en circuitos de altas prestaciones se pretende abordar de una forma teórica las características de los monitores, prestaciones, requisitos, configuraciones y posibilidades, y, de una forma práctica, el trabajo práctico con uno de estos dispositivos, gracias al cual se monitorizará la temperatura y la tensión en una FPGA llegando a controlar un ventilador.

1.2. Importancia

Cada día es más importante monitorizar la temperatura y la tensión en dispositivos de altas prestaciones, como una CPU o una FPGA. Dado que cualquier variación de sus condiciones de trabajo podría ocasionar un mal funcionamiento, incluso la destrucción parcial o total del dispositivo pudiendo ocasionar gastos importantes. Por lo que una prevención en estos factores es de obligado cumplimiento ante la preservación de cualquier tipo de aparato electrónico.

En primer lugar, el sobrecalentamiento de los dispositivos es un problema. Debido al alto consumo de energía que requieren los aparatos electrónicos se produce un calentamiento global en todo el dispositivo, el cual se deberá disipar para poder proseguir trabajando con el aparato. En caso de una temperatura muy alta se debería cortar el suministro de energía y esperar a la disipación completa del calor por parte de un ventilador.

O bien, una sobretensión podrá ocasionar que un dispositivo se queme inutilizándolo por completo. No es tan frecuente como el calentamiento, pero puede producir daños irreparables en el equipo en un momento dado, para lo cual se deberán monitorizar también ciertos pines y comprobar que su valor es el adecuado, pudiendo así tomar las decisiones adecuadas ante una anomalía.

1.3. Objetivos

El objetivo en este trabajo se compone de dos partes.

En primer lugar, se realizará un estudio sobre el tipo de monitores del que se dispone en el mercado electrónico. Para ello, se compararán los modelos de las diferentes marcas, analizando en cada caso sus cualidades, rangos de trabajo, características principales y diferentes prestaciones o configuraciones, gracias a lo cual se podrá seleccionar un monitor u otro en función de las características deseadas o requeridas.

En segundo lugar, se estudiará un monitor especial, el ADT7476A, para el cual se explicarán sus características de forma extendida, centrada en sus diferentes configuraciones, registros y el empleo de un ventilador como sistema de enfriamiento, para lo cual se deberá de implementar de forma adecuada ya que requiere de una configuración previa.

En último lugar, se trabajará sobre una FPGA sobre la que mediremos temperaturas y tensiones, pudiendo así hacer uso práctico de lo estudiado anteriormente. En este caso, se añadirá un factor de interés que será el trabajo con un circuito de altas prestaciones diseñado por la Universidad Carlos III de Madrid.

1.4. Descripción del índice

A continuación, se dispone el trabajo realizado, el cual es fragmentado en tres partes diferenciadas. La primera parte será el estudio de los diferentes monitores del mercado, con una comparativa de dispositivos, sus capacidades y ciertos ejemplos. La segunda parte tratará del dispositivo utilizado, haciendo una descripción más detallada y en profundidad de sus capacidades y de su forma de utilización. En la tercera parte se describirá la aplicación práctica realizada, dividiéndose en dos: el sistema de aplicación, donde se detallarán los componentes utilizados, y el programa de utilización, donde se explicará la forma de proceder con el monitor. Por último se añadirá una conclusión al trabajo realizado y una opinión personal.

2. Monitores

2.1. Introducción

En el mercado se ofertan una amplia gama de monitores, los cuales, dependiendo de nuestras exigencias, podrán responder a unos estados u otros de una forma u otra. Existen diferentes compañías que comercializan estos dispositivos, de las cuales se han estudiado cuatro: Microchip, On Semiconductor, Texas Instruments y Maxim. Para realizar un estudio más completo se han procedido a seleccionar diferentes modelos dentro de la misma marca, proporcionando así un estudio comparativo entre diferentes modelos de una misma compañía y una comparativa entre modelos de diferentes compañías. A continuación, se disponen las principales características de los mismos y una breve conclusión sobre sus características y posibilidades.

2.2. Tipos de dispositivos

2.2.1. Microchip

2.2.1.1. TC650/ TC651

2.2.1.1.1. Características

- Detección de la temperatura y control del ventilador con diferentes velocidades.
- Alerta por sobre temperatura (T_{over})
- Control de la velocidad del ventilador proporcional a la temperatura para reducir del ruido acústico y una mayor duración del ventilador.
- Salida de modulación PWM para reducir costes y ahorrar energía.
- Detección de la temperatura de un estado sólido.
- Precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un rango de 25 a 70 $^{\circ}\text{C}$.
- Rango de funcionamiento de 2,8 a 5,5V.
- El modelo TC651 incluye el apagado automático del ventilador.
- Baja corriente de funcionamiento: 50 μA (typ.).

2.2.1.1.2. Aplicaciones

- Protección térmica para PC
- Decodificadores digitales
- Ordenadores portátiles
- Comunicaciones de datos
- Fuentes de alimentación
- Proyector

2.2.1.1.3. Descripción general

Los TC650/TC651 son sensores de temperatura integrados y controladores DC de velocidad del ventilador sin escobillas. El TC650 / TC651 mide la temperatura de la unión y controla la velocidad del ventilador en base a esa temperatura, que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones en equipos electrónicos modernos. Los datos de temperatura se convierten en el chip de detección térmica del elemento y se traducen en una velocidad del ventilador fraccionada a partir de 40% a 100%. Una guía de selección de temperatura en la hoja de datos se utiliza para elegir los límites inferior y superior de temperatura para controlar el ventilador. El TC650/TC651 también incluye un punto de disparo único de la alerta de sobre temperatura (TOVER) que elimina la necesidad de sensores adicionales de temperatura. Además, el TC651 cuenta con una función de apagado del ventilador automático para ahorro de energía adicional. Los TC650/TC651 son fáciles de usar, no requieren sobrecarga de software y son, por lo tanto, la elección ideal para la aplicación de la gestión térmica en una variedad de sistemas.

2.2.1.1.4. Rango máximo de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 6V
- Tensión de salida (OUT a GND): 6V
- Tensión en cualquier pin (GND – 0.3V) a (VDD + 0.3V)
- Rango de temperatura operativa: –40°C a +125°C
- Temperatura de almacenaje: –65°C a +150°

2.2.1.2. TC652/TC653

2.2.1.2.1. Características

- Detección de la temperatura y control del ventilador con diferentes velocidades.
- Detector de fallos en el circuito del ventilador FanSense™
- Alerta por sobre temperatura (Tover)
- Control de la velocidad del ventilador proporcional a la temperatura para reducir del ruido acústico y una mayor duración del ventilador.
- Salida de modulación PWM para reducir costes y ahorrar energía.
- Detección de la temperatura de un estado sólido.
- Precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un rango de 25 a 70 °C.
- Rango de funcionamiento de 2,8 a 5,5V.
- El modelo TC653 incluye el apagado automático del ventilador.
- Baja corriente de funcionamiento: 50 μA (typ.).

2.2.1.2.2. Aplicaciones

- Protección térmica para PC
- Decodificadores digitales
- Ordenadores portátiles
- Comunicaciones de datos
- Fuentes de alimentación
- Proyector

2.2.1.2.3. Descripción general

Los TC652/TC653 son sensores de temperatura integrados y controladores DC de velocidad del ventilador sin escobillas gracias a la tecnología FanSense™. El TC652/TC653 mide su temperatura de la unión y controla la velocidad del ventilador en base a esa temperatura, que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones en equipos electrónicos modernos. El circuito FanSense™ detecta fallos en el ventilador y elimina la necesidad de un ventilador de 3 hilos más caro.

Los datos de temperatura se convierten en el chip de detección térmica del elemento y se traducen en una velocidad del ventilador fraccionada de 40% a 100%. Una guía de selección de temperatura en la hoja de datos se utiliza para elegir los límites inferior y superior de temperatura para controlar el ventilador. El TC652/TC653 también incluye un único punto de disparo más de alerta de temperatura (TOVER) que elimina la necesidad de sensores de temperatura adicionales. Además, el TC653 incluye una función de apagado automático del ventilador para el ahorro adicional de energía. Los TC652/TC653 son fáciles de usar, no requieren sobrecarga de software y por lo tanto son la elección ideal para la aplicación de la gestión térmica en una variedad de sistemas.

2.2.1.2.4. Rango máximo de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 6V
- Tensión de salida (OUT a GND): 6V
- Tensión en cualquier pin (GND – 0.3V) a (VDD + 0.3V)
- Encapsulado de resistencia térmica (θ_{JA}) : 250 ° C / W
- Rango de temperatura operativa: –40°C a +125°C
- Temperatura de almacenaje: –65°C a +150°

2.2.1.3. TC670

2.2.1.3.1. Características

- Detector de desgaste de ventilador para ventiladores de control lineal de 2 cables.
- Sistema de cambio para ventiladores de 3 cables.
- Señal de alerta cuando la velocidad del ventilador está por debajo del umbral programado.
- Capacidad de CLEAR para eliminar las falsas alarmas.
- Corriente de funcionamiento baja, 90 μ A (typ.).
- Rango VDD de 3.0V a 5.5V.
- Disponible en un empaquetamiento 6-Pin SOT-23

2.2.1.3.2. Aplicaciones

- Protección para los ventiladores controlados de forma lineal
- Fuentes de alimentación
- Equipo industrial
- PCs y portátiles
- Almacenamiento de datos
- Equipamiento de comunicación de datos
- Instrumentación

2.2.1.3.3. Descripción general

El TC670 es un sensor de velocidad del ventilador integrado que permite predecir y / o detectar un fallo del ventilador, evitando daños térmicos en sistemas con ventiladores de refrigeración. Cuando la velocidad del ventilador cae por debajo de un nivel especificado por el usuario, el TC670 establece una señal de alerta. Con este diseño, una velocidad mínima crítica del ventilador se determina por el usuario. El nivel de alerta del ventilador se ajusta a continuación, con un divisor de resistencia en el pasador de UMBRAL (pin 1) de la TC670. Cuando se alcanza la velocidad mínima del ventilador, el pin de ALERT (Pin 5) cambia de un valor alto a bajo en digital. Esta detección de fallos funciona con todos los ventiladores lineales controlables de 2 hilos. El TC670 elimina la necesidad de soluciones de ventilador de 3 hilos. Una clara opción se puede utilizar para restablecer la señal de alerta, lo que permite la flexibilidad de conectar la salida de alerta del TC670 con otras interrupciones AVISO / FALLO en el sistema. Esta función se puede implementar por lo que las falsas condiciones de fallo del ventilador no inician el cierre del sistema. Se especifica el TC670 para operar sobre el rango de temperatura industrial completo de -40 ° C a 85 ° C. El TC670 se ofrece en un encapsulado SOT-23 pin 6 pines y consume 90 μ A (típica) durante el funcionamiento. El encapsulado ahorra espacio y consumo de energía. Todas estas

cualidades hacen de este dispositivo una opción ideal para sistemas que requieren control de velocidad del ventilador.

2.2.1.3.4. Rango máximo de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 6V
- Tensión de salida (OUT a GND): 6V
- Intensidad de salida Short-Circuit: continua
- Tensión en cualquier pin (GND – 0.3V) a (VDD + 0.3V)
- Intensidad en entrada del Pin +/-2 mA
- Intensidad en la salida del Pin +/-25 mA
- Temperatura Junction, TJ 150°C
- ESD protección en todos los pines ≥ 4 kV
- Rango de temperatura operativa: -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de almacenaje: -55°C a $+150^{\circ}$

2.2.1.4. Comparativa

Podemos observar que las cualidades del TC650 y TC652/TC653 son prácticamente las mismas, no hay excesiva diferencia: control de la velocidad del ventilador, alarma de sobre temperatura, reducción del ruido acústico, larga duración del ventilador, PWM para el ahorro de energía y costes, $\pm 1^{\circ}\text{C}$ de precisión para el rango de temperaturas de 25°C a 70°C , rango de funcionamiento de 2,8 a 5,5 V y 50 μA mínimos de funcionamiento. Además el TC653 incluye el apagado automático del ventilador.

Por otro lado, el TC670 es completamente diferente, incorpora la detección de desgaste para ventiladores de 2 patillas controlados linealmente, además de la sustitución para ventiladores de tres patillas, señal de alarma cuando la velocidad está por debajo del umbral programado y una función de CLEAR para eliminar la falsa alarma. Aunque como inconveniente necesita una corriente mínima de operación de 90 μA y una alimentación de 3 a 5.5V.

Para finalizar, cabe destacar la diferencia entre los rangos de operación de temperatura y de almacenamiento, siendo en los tres primeros monitores (TC650, TC652 y TC653) -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y -65°C a $+150^{\circ}$, respectivamente. Mientras que para el TC670 tenemos unos valores de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$, para el rango de operación, y 55°C a $+150^{\circ}\text{C}$, para el rango de almacenamiento.

Por lo tanto, podemos concluir, que entre los diferentes monitores estudiados de esta marca elegiríamos el TC670, pues sus prestaciones son muy atractivas, aunque deberemos de comprobar que nuestro rango de temperaturas se adecue al del monitor. Por otro lado, si nuestras exigencias no son muy altas y no tenemos demasiado en cuenta el desgaste del ventilador, podremos elegir cualquiera de los anteriores, realizando una criba más fina para determinar cuál se adecúa más a nuestras especificaciones.

2.2.2. On Semiconductor

2.2.2.1. ADT7470

2.2.2.1.1. Características

- Monitoriza hasta 10 sensores de temperatura remotos.
- Monitoriza y controla la velocidad de hasta 4 ventiladores independientemente.
- Las salidas de PWM dirigen cada ventilador bajo control por software.
- Entrada FULL_SPEED que permite a los ventiladores trabajar a máxima velocidad por hardware externo.
- Interruptor SMBALERT que señala fallos al sistema de control.
- Un pin triestado ADDR que permite hasta tres dispositivos en un solo bus.
- El decodificador de la temperatura interpreta los sensores del TMP05 y comunica su valor a través del bus I2C.
- Comparación límite de todos los valores monitorizados.
- Soporta la versión rápida de I2C estándar (400 Hz máx.).
- Cumple con las especificaciones eléctricas 2.0 SMBus (totalmente compatible con SMBus 1.1).

2.2.2.1.2. Aplicaciones

- Servidores
- Creación de redes y equipos de telecomunicaciones
- Ordenadores de sobremesa

2.2.2.1.3. Descripción general

El controlador ADT74701 es un sensor de temperatura multicanal y controla el ventilador por PWM y monitoriza la velocidad del ventilador para sistemas que requieren refrigeración activa. Está diseñado para interconectar directamente a un bus I2C[®]. El ADT7470 puede controlar hasta 10 sensores de temperatura conectados en cadena TMP05. También puede supervisar y controlar la velocidad de cuatro ventiladores, en modo automático o en los bucles de control manual.

Se proporciona una entrada FULL_SPEED para permitir a los ventiladores trabajar a la velocidad máxima, a través del control de hardware externo, en condiciones térmicas extremas o en el inicio del sistema. Una interrupción SMBALERT comunica las condiciones de error como el ventilador a baja velocidad y sobre temperatura del procesador de servicios del sistema. Las condiciones individuales de error pueden ser leídas de los registros de estado a través del bus I2C.

2.2.2.1.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 6,5V
- Tensión en cualquier pin de TACH o PWM: -0.3 V a 6.5V
- Tensión en cualquier pin (GND – 0.3V) a (VDD + 0.3V)
- Temperatura Junction, TJ 150°C
- Protección ESD: 3 kV
- Temperatura de almacenaje: –65°C a +150°
- Fase Vapor, 60s 215 ° C
- Infrarrojos, 15s 200 ° C

2.2.2.2. ADT7473

2.2.2.2.1. Características

- Controla y monitoriza hasta 4 ventiladores.
- Señal de alta y baja frecuencia de control de ventilador.
- 1 sensor On-Chip y 2 sensores de temperatura remota.
- Cancelación de resistencias en serie en el canal remoto.
- Rango de temperatura de medida extensible, hasta 191°C.
- Modo de control dinámico de Tmin que optimiza inteligentemente el sistema acústico.
- Modo de control automático de la velocidad del ventilador controla el sistema de enfriamiento basado en la medida de la temperatura.
- Modo acústico mejorado que reduce drásticamente la percepción del usuario del cambio de la velocidad del ventilador.
- Función de protección térmica vía la salida THERM.
- Monitoriza el impacto del rendimiento de Intel Pentium 4 Processor.
- Control térmico del circuito vía entrada THERM.
- Medida de la velocidad de ventiladores de 3 y 4 cables.
- Límite de comparación de todos los valores monitorizados.
- Cumple con las especificaciones eléctricas 2.0 SMBus (totalmente compatible con SMBus 1.1).
- Está libre de plomo, halógenos, BFR y son RoHS Compliant.

2.2.2.2.2. Aplicaciones

- Servidores
- Creación de redes y equipos de telecomunicaciones
- Ordenadores de sobremesa

2.2.2.2.3. Descripción general

El controlador ADT7473/ADT7473-1 es un monitor térmico y controlador múltiple de PWM de ventiladores para aplicaciones sensibles al ruido o de potencia que requieren refrigeración del sistema activo. El ADT7473/ADT7473-1 puede conducir un ventilador utilizando una señal de accionamiento de baja o de alta frecuencia, controlar la temperatura de hasta dos diodos sensores remotos, además de su propia temperatura interna, y medir y controlar la velocidad de hasta cuatro ventiladores para que operen a la velocidad más baja posible para tener un ruido acústico mínimo.

El lazo de control de velocidad del ventilador automático optimiza la velocidad del ventilador para una temperatura dada. Un único control de TMIN dinámica permite a las térmicas / acústicas del sistema a ser gestionadas de forma inteligente. La eficacia de la solución térmica del sistema se puede supervisar usando la entrada THERM. El ADT7473/ADT7473-1 también proporciona protección térmica para el sistema utilizando el pin THERM bidireccional como una salida para evitar el sobrecalentamiento del sistema o componente.

2.2.2.2.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 3.6V
- Tensión en cualquier pin de entrada o salida: -0.3 V a 3.6V
- Corriente de entrada en cualquier pin: ± 5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ± 20 mA
- Tensión en cualquier pin (GND – 0.3V) a (VDD + 0.3V)
- Temperatura Junction, TJ 150°C
- Protección ESD: 3 kV
- Temperatura de almacenaje: –65°C a +150°

2.2.2.3. ADT7490

2.2.2.3.1. Características

- Medida de la Temperatura
 - Sensor de temperatura local On-Chip
 - Sensor de Temperatura remota
 - Sensor de Temperatura de corriente externa con cancelación de resistencia serie (SRC)
 - Interfaz PECL para información térmica de la CPU y soporte de hasta 4 entradas PECL en 1 pin.
- Conducción y control de velocidad del ventilador
 - Salida PWM con 3 altas o bajas frecuencias para uso de ventiladores de 3 o 4 cables
 - 4 entradas de TACH para la medida de la velocidad
 - Control de la velocidad del ventilador a través de un automático e independiente SO basado en información térmica

- Modo de control dinámico de T_{min} para optimizar el sistema acústico
- Encendido por defecto al 100% de la PWM para todos los ventiladores para operaciones robustas
- Pin bidireccional THERM/SMBALERT que marca condiciones fuera de límites o de sobre temperatura
- Funcionalidad GPIO para soportar funciones adicionales
 - Puede ser utilizado para establecer la línea de carga del Tensión, controlar un LED, u otras funciones
- Monitorización IMON para información de corriente y energía de la CPU
- Huella y registro compatible con la familia de controladores de ventiladores ADT7473/ADT7475/ADT7476/ADT7476A
- Interfaz SMBus con capacidad de direccionamiento de hasta 3 dispositivos

2.2.2.3.2. Aplicaciones

- Ordenadores personales
- Servidores

2.2.2.3.3. Descripción general

El ADT7490 es un monitor térmico y controlador múltiple PWM de ventilador para aplicaciones sensibles al ruido o la energía sensible que requieren refrigeración del sistema activo. El ADT7490 incluye un sensor de temperatura local, dos sensores de temperatura remotos con cancelación de la resistencia en serie, y los monitores de temperatura de CPU con una interfaz PECI.

El ADT7490 puede controlar un ventilador utilizando una señal de accionamiento de baja o de alta frecuencia, y medir y controlar la velocidad de hasta cuatro ventiladores por lo que funcionarán a la velocidad más baja posible para tener un ruido acústico mínimo.

El lazo de control de velocidad automático del ventilador optimiza la velocidad del ventilador para una temperatura determinada mediante el PECI (Platform Environment Control Interface) a distancia, o la información de temperatura local. La eficacia de la solución térmica del sistema se puede supervisar usando la entrada THERM. El ADT7490 también proporciona protección térmica para el sistema utilizando el pin bidireccional THERM / SMBALERT como una salida para evitar el sobrecalentamiento del sistema o componente.

2.2.2.3.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de entrada (VDD a GND): 3.6V
- Máxima tensión en +12 VIN Pin: 16V
- Máxima tensión en +5 VIN Pin: 6,25V
- Máxima tensión en todas las salidas Open-drain (excluyendo los pines PWM): 3.6V
- Máxima tensión en los pines TACHx/PWMx: +5.5V
- Tensión en el resto de pines de entrada o salida: -0.3 V a 4.2V
- Corriente de entrada en cualquier pin: ±5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ±20 mA
- Temperatura Junction, T_J 150°C
- Protección ESD

- HBM: 2kV
- FICDM: 0.5kV
- Temperatura de almacenaje: -65°C a $+150^{\circ}$

2.2.2.4. Comparativa

Analizando las características de cada monitor, observamos, como no podría ser de otra forma que el último modelo es el más avanzado. No obstante hay ciertas características que comparten y otras en las que difieren. Por ejemplo, todos ellos disponen de control PWM y tacómetro para controlar los ventiladores. Además todos ellos pueden controlar 4 ventiladores.

En el ADT7470 caben destacar el cumplimiento de las especificaciones eléctricas SMBus 2.0, la transferencia de datos I2C a 400KHz máximo, la medida de 10 sensores de temperatura remotos y dos señales: FULL_SPEED que ordenará a los ventiladores trabajar a máxima frecuencia y SMBALERT que alertará sobre posibles fallos. Su rango de temperaturas de almacenaje está entre -65°C y $+150^{\circ}\text{C}$. Por último, se introduce la medida de la velocidad en ventiladores de 3 y 4 patillas, que se usará en modelos futuros.

Por otro lado, el ADT7473 presenta ciertas innovaciones como son un sensor de medida de temperatura en el chip (On-Chip), el control de los ventiladores a baja y alta frecuencia, y la cancelación de la resistencia en serie del canal remoto. Además, incorpora el control inteligente que optimiza la acústica del sistema ya protección térmica gracias a la salida THERM. Su rango de temperaturas está ampliado a 191°C y es libre de contaminantes como el plomo y halógenos.

El ADT7476 no evoluciona mucho más con respecto al ADT7473; algunas de sus innovaciones son la mejora del rendimiento del tacómetro y el control PWM, el sistema automático de la velocidad del ventilador de enfriamiento basado en la temperatura medida. Además, reduce la percepción de cambios en la velocidad del ventilador. Como último nuevo recurso destacable está la monitorización del impacto en el rendimiento del procesador Intel Pentium 4.

Por último, el ADT7490, además de todas las prestaciones anteriores, incorpora el arranque por defecto al 100% PWM para operaciones robustas de los ventiladores, la funcionalidad GPIO para características extras, el interface PECL para información térmica de la CPU y soporte para 4 entradas PECL en un pin, control automático independiente OS basado en información térmica, monitorización IMON para la información de corriente y potencia de la CPU. Además es compatible con las huellas y registros del resto de la familia ADT7473/ADT7475/ADT7476/ADT7476A.

Por lo tanto, podríamos asegurar que esta última opción es la más sugerente dentro de esta familia de monitores. No obstante, si nuestros requisitos no son muy selectivos podremos escoger cualquier otro de los monitores, como el ADT7473 o ADT7476.

2.2.3. Texas Instruments

2.2.3.1. LM63

2.2.3.1.1. Características

- Transistores 2N3904 conectados a diodos de precisión o diodos térmicos a bordo de grandes procesadores o ASIC's
- Detecta con precisión su propia temperatura
- Recortados de fábrica para los diodos térmicos de los procesadores Intel Pentium 4 y Mobile Pentium 4
- Salida integrada PWM para el control de la velocidad del ventilador
- Reducción del ruido acústico con la programación por parte del usuario de la tabla de 8 escalones
- Multifunción, salida de ALERT seleccionable por el usuario, o entrada de tacómetro
- Entrada de tacómetro para la medición de las RPM del ventilador
- Modo SMART-TACH para la medida de RPM de los ventiladores con energía PWM como se muestra en la aplicación típica
- Registro de offset ajustable para una variedad de diodos térmicos
- Formato de 10 bit con signo de los datos del diodo de temperatura remoto, con una resolución de 0.125°C
- Interface compatible con SMBus 2.0, soporta TIMEOUT
- Pines de salida compatibles con el LM86
- Registros compatibles con el LM86
- Encapsulado SOIC de 8 pines

2.2.3.1.2. Aplicaciones

- Administración térmica del procesador del ordenador(ordenador portátil, sobremesa, estación de trabajo, servidores)
- Administración térmica del procesador gráfico
- Equipos de prueba electrónica
- Proyector
- Equipamiento de oficina
- Controles industriales

2.2.3.1.3. Descripción general

El LM63 es un sensor de diodo de temperatura remota con control del ventilador integrado. Los LM63 miden con precisión: (1) su propia temperatura y (2) la temperatura de un transistor conectado a diodo, como un 2N3904 o un diodo térmico comúnmente

encontrados en procesadores, unidades de procesamiento gráfico (GPU) y otra de ASIC. La precisión del sensor remoto de temperatura LM63 se recorta de fábrica para la resistencia en serie. El LM63 tiene un registro de desplazamiento para corregir los errores causados por diferentes factores no ideales de otros diodos térmicos.

El LM63 también cuenta con una salida PWM que controla el ventilador. La velocidad del ventilador es una combinación de la lectura de la temperatura remota, la tabla de consulta y los ajustes del registro. La tabla de búsqueda de 8 escalones permite al usuario programar una velocidad del ventilador no lineal frente a la función de transferencia de temperatura, que a menudo utilizada para calmar el ruido del ventilador acústica.

2.2.3.1.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de alimentación: de 3.0V a 3.6V
- Corriente de suministro: 1.3 mA (typ)
- Tensión de alimentación, VDD: -0.3 V a 6.0V
- Tensión en los pines SMBDAT, SMBCLK, ALERT/Tach, PWM -0.5V a 6.0V
- Tensión en otros pines: -0.3V a (VDD +0.3V)
- Corriente de entrada en el pin D: ± 1 mA
- Corriente de entrada en cualquier otro pin: 5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ± 30 mA
- Salida de corriente: 10mA
- Protección ESD: 2 kV con modelo humano y 200V con modelo de máquina
- Temperatura de almacenaje: -65°C a $+150^{\circ}$

2.2.3.2. LM64

2.2.3.2.1. Características

- Diodo sensitivo de precisión de temperaturas remota y local
- Salida integrada PWM de control de la velocidad del ventilador
- Tabla de 8 escalones programables para ralentizar los ventiladores
- Salidas ALERT y T_Crit
- Entrada de tacómetro para medir la velocidad RPM del ventilador
- Formato de 10 bit con signo de los datos del diodo de temperatura remota, con una resolución de 0.125°C
- Interfaz compatible con SMBus 2.0, soporta TIMEOUT
- 5 pines Input/Output de uso general
- 5 pines de entrada por defecto de uso general
- Empaquetamiento de 24 pines LLP

2.2.3.2.2. Aplicaciones

- Gestión térmica del procesador del ordenador
- Gestión térmica del procesador gráfico
- Módulos de regulación de tensión
- Instrumentación electrónica
- Fuentes de alimentación
- Proyectoros

2.2.3.2.3. Descripción general

El LM64 es un sensor de diodo de temperatura remota con control PWM del ventilador. El LM64 mide con precisión su propia temperatura y la de un diodo a distancia. La exactitud de la temperatura a distancia LM64 se recorta de fábrica para un transistor conectado a diodo MMBT3904 con un offset de 16 ° C para altas temperaturas.

Los LM64 cuenta con una salida PWM de control del ventilador, 5 pines GPIO (General Purpose Input / Output) y 5 pines GPD (General Purpose Defect). La tabla de 8 escalones permite una velocidad del ventilador no lineal frente a la función de transferencia de temperatura, que a menudo se utiliza para acallar el ruido del ventilador acústico.

2.2.3.2.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de alimentación: de 3.0V a 3.6V
- Corriente de suministro: 1.1 mA (typ)
- Tensión de alimentación, VDD: -0.3 V a 6.0V
- Tensión en los pines SMBDAT, SMBCLK, ALERT/Tach, PWM -0.5V a 6.0V
- Tensión en otros pines: -0.3V a (VDD +0.3V)
- Corriente de entrada en el pin D: ± 1 mA
- Corriente de entrada en cualquier otro pin: 5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ± 30 mA
- Salida de corriente: 10mA
- Protección ESD: 2 kV con modelo humano y 200V con modelo de máquina
- Temperatura de almacenaje: -65°C a +150°

2.2.3.3. LM96163

2.2.3.3.1. Características

- Salida TCRIT para sistemas de temperatura crítica que soporta diodos de procesador remoto de 45nm, 65nm y 90nm.
- Recortado de fábrica para los diodos térmicos de 45nm del procesador Intel®

- Transistores 2N3904 conectados a diodos de precisión o diodos térmicos a bordo de grandes procesadores o ASIC's
- Mide su propia temperatura con precisión
- Salida de control PWM integrado de la velocidad del ventilador que soporta una alta resolución a 22.5kHz de frecuencia para 4 ventiladores
- Reducción del ruido acústico del ventilador con tabla programable por el usuario de 12 escalones
- Función de transición LUT de fina resolución de suavizado
- Entrada de tacómetro para medida de RPM del ventilador
- Modo SMART-TACH para la medida de RPM de los ventiladores con energía PWM como se muestra en la aplicación típica
- Salida de ALERT para notificación de eventos del procesador
- Tecnología de apagado de compensación TruTherm BJT beta
- Registro de Offset ajustable por una variación de los diodos térmicos
- Formatos de 10 bits con signo y 11 bits sin signo, con una resolución de 1/8°C
- Resolución extensible a 1/32°C cuando está activado el filtro digital
- Resuelve temperaturas de diodos remotos de hasta 255.875°C
- Interfaz compatible con SMBus 2.0, soporta TIMEOUT y ARA
- LLP10(QFN10) empaquetamiento

2.2.3.3.2. Aplicaciones

- Gestión térmica de procesadores
- Prueba electrónica y equipos de oficina
- Controles industriales

2.2.3.3.3. Descripción general

El LM96163 tiene sensores de temperatura remotos y locales con el control del ventilador integrado que incluye la tecnología de compensación TruTherm transistor BJT beta para la detección de diodos remotos. El LM96163 mide con precisión: (1) su propia temperatura y (2) la temperatura de un transistor conectado a diodo, tal como un 2N3904, o un diodo térmico que se encuentra comúnmente en los procesadores de ordenador, unidades de gráficos procesador (GPU) y otra de ASIC. El LM96163 tiene un registro de desplazamiento para corregir los errores causados por diferentes factores no ideales de otros diodos térmicos.

El LM96163 también cuenta con una salida PWM de ancho de pulso modulado que controla la velocidad del ventilador. La velocidad del ventilador depende de una combinación de la lectura de temperatura a distancia, la tabla de búsqueda y la configuración de registro. La tabla de búsqueda 12-paso (LUT) permite al usuario programar una velocidad del ventilador no lineal frente a la función de transferencia de temperatura a menudo utilizada para calmar

el ruido del ventilador acústica. Además una función de rampa totalmente programable se ha añadido para permitir transiciones suaves entre puntos de ajuste LUT.

2.2.3.3.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión de alimentación: de 3.0V a 3.6V
- Corriente de suministro: 1.1 mA (typ)
- Tensión de alimentación, VDD: -0.3 V a 6.0V
- Tensión en los pines SMBDAT, SMBCLK, ALERT, TCRIT, TACH, PWM -0.5V a 6.0V
- Tensión en otros pines: -0.3V a (VDD +0.3V)
- Corriente de entrada en el pin D: ± 1 mA
- Corriente de entrada en cualquier otro pin: 5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ± 30 mA
- Salida de corriente: 10mA
- Temperatura Junction: 125°C
- Protección ESD: 2.5 kV con modelo humano, 250V con modelo de máquina y 1kV con modelo de dispositivo cargado
- Temperatura de almacenaje: -65°C a +150°C

2.2.3.4. Comparativa

Como marcas anteriores, el LM63 presenta el control PWM, una reducción del ruido acústico del ventilador, además de la salida de ALERT para posibles errores y la entrada de tacómetro, la cual nos dará las RPM del ventilador. Además cuenta con un offset para el ajuste de los diodos térmicos. Tiene una resolución de 0.125°C. Finalmente, destacar que también usa un sistema SMBus 2.0 que soporta TIMEOUT y tiene un empacamiento de 8 pines SOIC.

El LM64 ofrece las mismas prestaciones que el LM63 con las mejoras de la salida T_Crit, empacamiento de 24 pin LLP, 8-step Lookup Table programable para ventiladores parados y sensores de diodos térmicos de precisión remotos y locales.

Por último, pero no por ello menos importante, está el LM96163, que aventaja a todos sus predecesores de la marca y está preparado de fábrica para los diodos térmicos del procesador Intel® 45 nm. Con este dispositivo, la velocidad de los ventiladores de 4 patillas se controla con alta resolución a 22.5Hz y pasamos a tener una Lookup Table programable de 12 entradas. Podemos llegar a obtener una resolución de 1/32 °C cuando se activa el filtro digital. Además, se incluye la compensación tecnológica de cierre TruTherm BJT beta, exclusiva de Texas Instruments. Para finalizar, su temperatura remota alcanza ahora los 255.875 °C, su encapsulado es el LLP10 (QFN10) y cuenta con el SMBus 2.0 con TIMEOUT y ARA.

2.2.4. Maxim

2.2.4.1. MAX6641

2.2.4.1.1. Características

- Encapsulado pequeño de 3mm x 5mm μ MAX
- Entrada de diodo térmico
- Sensor de temperatura local
- Salida PWM para control del ventilador
- Características del control del ventilador programables
- Giro automático del ventilador que asegura su encendido
- Precisión de temperatura remota de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($+60^{\circ}\text{C}$ a $+145^{\circ}\text{C}$)
- Cambio de Velocidad controlada que asegura discretos ajustes de la velocidad del ventilador
- La monitorización de la temperatura comienza cuando está encendido para proteger el sistema a prueba de fallos
- Salida de OT para estrangulamiento o apagado

2.2.4.1.2. Aplicaciones

- Ordenadores de sobremesa
- Ordenadores portátiles
- Estaciones de trabajo
- Servidores
- Equipos de red
- Industrial

2.2.4.1.3. Descripción general

El sensor de temperatura MAX6641 y controlador del ventilador debe determinar con precisión la temperatura de su propia matriz y de la temperatura de una unión PN remota. El dispositivo informa de los valores de temperatura en forma digital mediante una interfaz en serie de 2 hilos. La unión PN a distancia suele ser la unión emisor-base de un colector común PNP en una CPU, FPGA o ASIC.

La interfaz en serie de 2 hilos acepta System Management Bus estándar (SMBus), escribe byte, lee byte, envía byte y recibe comandos de bytes para leer los datos de la temperatura y programa los umbrales de alarma.

Los datos de temperatura controlan una señal de salida PWM para ajustar la velocidad de un ventilador de refrigeración, lo que minimiza el ruido cuando el sistema está funcionando

bien, pero ofreciendo la máxima refrigeración cuando aumenta la necesidad de disipación de energía.

El dispositivo también cuenta con una salida de alarma de exceso de temperatura para generar interrupciones, señales de estrangulamiento, o apagar señales. El MAX6641 funciona con tensiones de alimentación en el rango de 3,0 V a 5,5 V y por lo general consume 500µA de la corriente de alimentación.

El MAX6641 está disponible en un encapsulado delgado de 10 pines µMAX y está disponible a través de -40 ° C a +125 ° C rango de temperatura.

2.2.4.1.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión VCC, OT, SMBDATA, SMBCLK, PWMOUT: -0.3 V a 6.0V
- Tensión en DXP: -0.3V a (VCC +0.3V)
- Tensión en DXN: -0.3V a 0.8V
- Temperatura Junction: 150°C
- Temperatura de almacenamiento: -65°C a +150°C
- Protección ESD: 2 kV

2.2.4.2. MAX6665

2.2.4.2.1. Características

- Interruptor del ventilador de 250 mA
- No se requieren componentes externos
- Umbrales programados de fábrica
- Dos señales de advertencia de sobre temperatura
- Histéresis de 1°C, 4°C y 8°C seleccionable a través de pin
- Baja corriente de alimentación: 65µA

2.2.4.2.2. Aplicaciones

- Portátiles y ordenadores de sobremesa
- Servidores
- Fuentes de alimentación de ordenadores
- Instrumentos de laboratorio
- Bastidores de tarjetas

2.2.4.2.3. Descripción general

El MAX6665 es un interruptor térmico totalmente integrado con un transistor de alimentación interna para la conducción de un ventilador de refrigeración de hasta 24 V y 250 mA. Cuando la temperatura del MAX6665 se eleva por encima de un umbral programado en fábrica, el pin FANOUT se activa y alimenta el ventilador. El MAX6665 está disponible con activación de ventilador programada de fábrica, con temperaturas umbral de 40 °C a 70 °C en incrementos de 5 °C. La precisión del punto de disparo de activación del ventilador es de ± 1 °C (típico) y ± 3 °C (máx.). La histéresis del punto de disparo es seleccionable a 1 °C, 4 °C, u 8 °C. Dos salidas lógicas indican condiciones de exceso de temperatura:

WARN se activa cuando la temperatura está 15 °C por encima del umbral de activación de los ventiladores, y OT se activa cuando la temperatura está 30 °C por encima del umbral. Estas características se pueden utilizar para poder apagar con seguridad los sistemas que se sobrecalientan.

El MAX6665 opera con una alimentación de 2,7 V a 5,5 V y el ventilador asociado puede obtener una tensión de alimentación de 4.5V a 24V. Está disponible en un encapsulado SO de 8-pin y opera desde -40 °C a +125 °C.

2.2.4.2.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión VDD a GND: -0.3 V a 6.0V
- Tension FANOUT a GND: -0.3 V a 28V
- Tensión en FORCEON, HYST, FANON a GND: -0.3V a (VDD +0.3V)
- Tensión en WARN, OT a GND: -0.3V a +6V
- Corriente continua FANOUT: 400mA
- Corriente en el resto de pines: ± 20 mA
- Temperatura Junction: -65°C a +150°C
- Temperatura de almacenamiento: -40°C a +125°C

2.2.4.3. MAX6668/MAX6670

2.2.4.3.1. Características

- Controlador de ventilador integrado de +12V y 250mA
- No requiere calibración
- Histéresis seleccionable en el MAX6670 a través de pin a 4°C, 8°C o 12°C
- Umbrales de temperatura programados de fábrica de +40°C a +75°C
- Señales de alarma de sobre temperatura
- Corriente de alimentación de 110µA (typ)

- Ahorro de espacio con los empaquetamientos de 8 y 10 pines μ MAX

2.2.4.3.2. Aplicaciones

- Ordenadores portátiles y sobremesa
- Interruptores de red
- Fuentes de alimentación de ordenadores
- Instrumentos de laboratorio
- Bastidores de tarjetas
- Alarmas de temperatura
- Control de ventiladores

2.2.4.3.3. Descripción general

Los MAX6668/MAX6670 son interruptores de temperatura remota o de unión con un transistor de alimentación que controla un ventilador de refrigeración para tensiones de hasta alimentación de hasta 12 V y 250 mA. Estos dispositivos miden la temperatura de una unión PN externa (típicamente un transistor conectado a un diodo) y enciende el interruptor de alimentación del ventilador cuando la temperatura remota se eleva por encima de un umbral programada en fábrica. Es autónomo y no requiere de desarrollo de software, la MAX6668/MAX6670 son "drop-in" soluciones de control de ventiladores sencillos para una variedad de sistemas.

El MAX6670 ofrece una salida WARN que se activa cuando la temperatura remota supera el umbral de activación del ventilador, programada de fábrica, en 15 °C. Los MAX6670 disponen de una salida de OT que se activa cuando la temperatura remota supera el umbral programado en fábrica en 30 °C. El MAX6668/MAX6670 proporciona una entrada de control de ventiladores, FORCEON, que permite que el ventilador sea impulsado externamente, independientemente de la temperatura.

La temperatura alcanza los umbrales de 40 °C a 75 °C en incrementos de 5 °C. La histéresis es prefijada a 8 °C en el MAX6668 o seleccionable con el pin a 4 °C, 8 °C o 12 °C por medio de una entrada lógica de tres niveles en el MAX6670. La precisión del umbral de temperatura es de ± 1 °C (típico) y $\pm 2,2$ °C (máx.) para temperaturas remotas o en la unión de 40 °C a 75 °C.

El MAX6668/MAX6670 opera de 3 V a 3,6 V de alimentación, tal como se especifica en el rango de temperatura de automoción (-40 °C a +125 °C). El MAX6668 se ofrece en un encapsulado μ MAX de 8 pines y el MAX6670 está disponible en un encapsulado μ MAX de ahorro de espacio de 10 pines.

2.2.4.3.4. Rangos máximos de trabajo

- Tensión VDD a GND: -0.3 V a 6.0V
- Tensión PGND a GND: -0.3V a +0.3V

- Tensión FANOUT a GND: -0.3 V a 15V
- Tensión DXN a GND: -0.3V a 0.8V
- Tensión en DXP, WARN, FORCEON, HYST a GND: -0.3V a (VDD +0.3V)
- Corriente continua FANOUT, PGND: $\pm 300\text{mA}$
- Corriente en el resto de pines: $\pm 20\text{mA}$
- Temperatura Junction: $+150^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de almacenamiento: -60°C a $+125^{\circ}\text{C}$

2.2.4.4. Comparativa

El MAX 6641 no presenta muchas innovaciones respecto a otras marcas. Realiza control PWM del ventilador con, una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Sus principales diferencias son que el Spin-Up automático del ventilador asegura el arranque del ventilador, una salida OT para el regulado o apagado y que la monitorización de la temperatura empiece cuando se encienda para proteger el sistema.

EL MAX 6665 además cuenta con dos señales de sobre temperatura, umbrales programados de fábrica, no requiere de componentes externos y la histéresis del pin es seleccionable a 1°C , 4°C y 8°C . Por contra, necesita una corriente mínima de alimentación de $65\text{ }\mu\text{A}$.

Para finalizar, el MAX6670 y el MAX6668 cuentan también con dos salidas de temperatura, histéresis de los pines seleccionables a 4°C , 8°C y 12°C (a diferencia del 6665) para el 6670, umbrales de temperatura programados de fábrica de 40 a 75°C . Además, no requiere calibración, su encapsulado es de 8-Pin y 10-Pin μMAX , ahorrando espacio, pero requiere una alimentación de $110\text{ }\mu\text{A}$.

El gran error de estos monitores es que no incorporan el control PWM, excepto el MAX 6641, sino que utilizan una corriente continua para alimentar el ventilador, en el último de los casos de $+12\text{V}$ y 250mA .

2.2.5. Conclusión

Se detalla la tabla 2.1 para tener una visión general de las principales características a tener en cuenta a la hora de elegir monitor.

Marca	Modelo	PWM	Tacómetro	Señal de alerta	Conexión I2C	Alimentación	Rango de temperaturas
Microchip	TC650/TC651	SI	NO	SI	NO	2.8V-5.5V	25 °C a 70°C
Microchip	TC652/TC653	SI	NO	SI	NO	2.8V-5.5V	25 °C a 70°C
Microchip	TC670	SI	NO	SI	NO	3.0V-5.5V	-40°C a +85°C
ON SEMICONDUCTOR	ADT7470	SI	SI	SI	SI	3.0V-5.5V	-65°C a +150°C
ON SEMICONDUCTOR	ADT7473	SI	SI	SI	SI	3.6V	-65°C a 150°C
ON SEMICONDUCTOR	ADT7490	SI	SI	SI	SI	3.6V	-65°C a 150°C
TEXAS INSTRUMENTS	LM63	SI	SI	SI	SI	3.0V – 6.0v	-65°C a 150°C
TEXAS INSTRUMENTS	LM64	SI	SI	SI	SI	3.0V – 6.0v	-65°C a 150°C
TEXAS INSTRUMENTS	LM96163	SI	SI	SI	SI	3.0V – 6.0v	-65°C a 150°C
MAXIM	MAX6641	SI	NO	SI	NO	3.0V - 5.5V	-40°C a 125°C
MAXIM	MAX6665	NO	NO	SI	NO	2.7V – 5.5V	-40°C a 125°C
MAXIM	MAX6668/6670	NO	NO	SI	NO	3.0V – 3.6V	-40°C a 125°C

Tabla 2. 1.

A continuación se elabora una conclusión final que permita elegir entre un monitor u otro. Primero descartaremos a los monitores MAXIM, pues nosotros requerimos trabajar con modulación PWM y estos monitores no la ofrecen.

Por otro lado los monitores de MICROCHIP son útiles si nuestras especificaciones y demanda de prestaciones son bajas, por lo que declinaremos esta opción, pues no parecen poseer las especificaciones SMBus 2.0.

Por último, a la hora de elegir entre ON SEMICONDUCTOR o TEXAS INSTRUMENTS, ambos parecen suficientes para aplicaciones de altas prestaciones. TEXAS INSTRUMENTS cubre un rango de temperatura mayor (hasta 255°C), dispone del control PWM, una buena resolución (hasta 1/32 °C), SMBus 2.0 con TIMEOUT y ARA, tacómetro, salida de alarma (T_Crit), alta resolución de control del ventilador (hasta 22.5 Hz) y una novedad para el resto de monitores el TruTherm BJT beta. Además, la diferencia económica en estos dispositivos es prácticamente mínima, su precio en la página www.digikey.es rondan los 2.5€, por lo que no será un criterio a tener muy en cuenta.

Por todo esto y más, podemos concluir que la mejor opción para monitorizar la temperatura en una FPGA sería el LM 96163. No obstante, el ADT7476A también es apropiado.

3. Descripción del dispositivo utilizado: ADT7476A

3.1. Capacidades generales

El dispositivo utilizado, al igual que los anteriores, permite monitorizar la temperatura de cualquier dispositivo. Ello se consigue gracias a dos sensores de temperatura remotos y uno local. Además, en función de estos valores se pueden controlar hasta cuatro ventiladores mediante la modulación PWM, a alta o baja frecuencia. Los ventiladores controlables son de 3 o 4 cables. Estos ventiladores son controlados en función de la temperatura, pudiendo establecer una temperatura mínima T_{min} por debajo de la cual el ventilador puede funcionar a bajas revoluciones o bien estar apagado. Así mismo, el ventilador aumenta de revoluciones según aumente la temperatura llegando a un valor de PWM máximo establecido o al 100%, según configuración. El monitor puede medir la velocidad del ventilador gracias a la entrada de tacómetro. Tanto el canal de TACH como el de PWM soportan una tensión de 5V. Su rango de medida de temperatura llega hasta los 191°C y dispone de una entrada THERM de protección térmica. La percepción del cambio de velocidad en el ventilador es casi nula.

Por otro lado, nos permitirá monitorizar hasta 5 tensiones de un dispositivo, pudiendo emitir señales de interrupción en función de una sobretensión en alguna de las medidas. Se puede monitorizar todos los límites de las variables monitorizadas. La transmisión de datos con el microprocesador es vía I2C. Cumple con las especificaciones eléctricas SMBus 2.0 y está libre de plomo. Sus rangos máximos de trabajo son:

- Tensión de entrada (VCC a GND): 3.6V
- Tensión máximo en el pin +12VIN: 16V
- Tensión máximo en el pin +5.0VIN: 6.25V
- Tensión máximo en los pines SDA, SCL, THERM (pin 22) y GPIO1-5: 3.6V
- Tensión máximo en todos los pines de TACH y PWM: +5.5V
- Tensión en el resto de pines de entrada o salida: -0.3 a 4.2V
- Corriente de entrada en cualquier pin: ± 5.0 mA
- Corriente de entrada del encapsulado: ± 20 mA
- Temperatura Junction, T_J 150°C
- Protección ESD: 1.5 kV
- Temperatura de almacenaje: -65°C a +150°

El modelo físico, con entradas y salidas, del dispositivo se muestra en la figura 3.1.

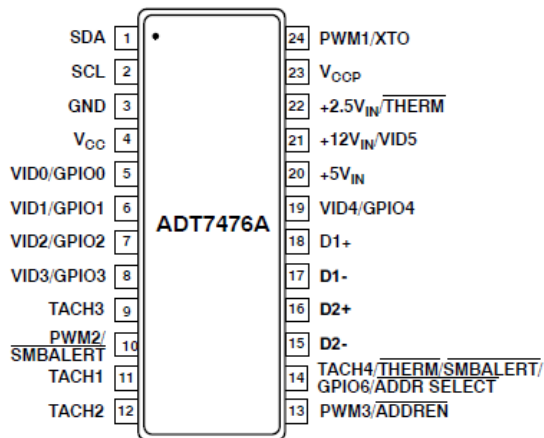


Figura 3. 1.

Pin	Nombre	Descripción
1	SDA	I/O digital. SMBus bidireccional de datos serie. Requiere arranque SMBus.
2	SCL	Entrada digital. Entrada serie de reloj SMBus. Requiere arranque SMBus.
3	GND	Pin de tierra.
4	V _{CC}	Fuente de alimentación. V _{CC} es monitorizado a través de este pin.
5	VID0/ GPIO0	Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU. General-Purpose Open Drain Digital I/O.
6	VID1/ GPIO1	Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU. General-Purpose Open Drain Digital I/O.
7	VID2/ GPIO2	Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU. General-Purpose Open Drain Digital I/O.
8	VID3/ GPIO3	Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU. General-Purpose Open Drain Digital I/O.
9	TACH3	Entrada digital. Entrada de tacómetro para la medida del ventilador 3.
10	PWM2/ SMBALERT	Salida digital. PWM para la velocidad del ventilador 2. Salida digital. Este pin se puede configurar como señal de interrupción para señalar condiciones de fuera de límite.
11	TACH1	Entrada digital. Entrada de tacómetro para la medida del ventilador 1.
12	TACH2	Entrada digital. Entrada de tacómetro para la medida del ventilador 2.
13	PWM3/ ADDREN	Salida digital. PWM para la velocidad del ventilador 3 y 4. Modo de selección de dirección.
14	TACH4/ THERM/ SMBALERT/ GPIO6/ ADDR SELECT	Entrada digital. Entrada de tacómetro para la medida del ventilador 2. Entrada de valor de THERM. Salida de interrupción para señalar condiciones de fuera de límite. General-Purpose Open Drain Digital I/O. Si se está en el modo de selección de dirección, este pin define la dirección SMBus del dispositivo.
15	D2-	Conexión del cátodo del diodo térmico dos.
16	D2+	Conexión del ánodo del diodo térmico dos.
17	D1-	Conexión del cátodo del diodo térmico uno.
18	D1+	Conexión del ánodo del diodo térmico uno.

19	VID4/ GPIO4	Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU. General-Purpose Open Drain Digital I/O.
20	+5.0VIN	Entrada analógica. Monitoriza la fuente de alimentación de 5V.
21	+12VIN/ VID5	Entrada analógica. Monitoriza la fuente de alimentación de 12V. Entrada digital. Lectura de salida de tensión de la CPU.
22	+2.5VIN/ THERM	Entrada analógica. Monitoriza la fuente de alimentación de 2.5V. Entrada de valor de THERM.
23	V _{CCP}	Entrada analógica. Monitoriza la tensión del núcleo del procesador (0V a 3V).
24	PWM1/ XTO	Salida digital. PWM para la velocidad del ventilador 2. Salida del árbol XOR en el modo de test.

Tabla 3. 1.

Su diagrama de bloques funcional se muestra en la Figura 3.2.

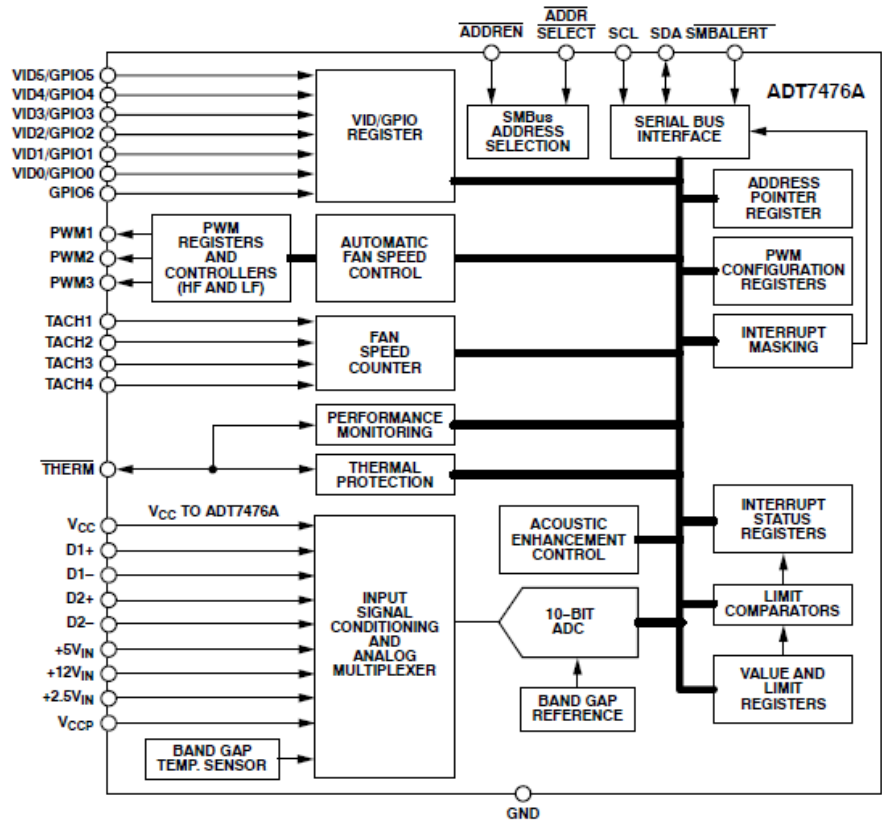


Figura 3. 2.

El monitor dispone de múltiples funciones, registros y posibles configuraciones. A continuación se detallan las más importantes.

3.1.1. Medición de la tensión de entrada

El ADT7476 tiene 4 canales de medida de temperatura. También puede medir su propia tensión de alimentación V_{CC} . Del pin 20 al 23 se medirán las tensiones de 5.0V, 12V y 2.5V y, además, la tensión del núcleo del procesador V_{CCP} (0V a 3V de entrada). La tensión V_{CC} se medirá en el pin 4.

Para medir estas tensiones, debido a que el rango de entrada varía de 0 a 2.5V, se dispone de atenuadores para el resto de las medidas sin necesidad de componentes externos. Para permitir la tolerancia de estas tensiones, el convertidor ADC produce una salida de $\frac{3}{4}$ de fondo de escala (768 dec o 300 hex) para el valor nominal de entrada, dando un espacio libre para hacer frente a sobretensiones. Sus registros son:

Registro	Tensión	Lectura
0x20	2.5 V	0x00 defecto
0x21	VCCP	0x00 defecto
0x22	VCC	0x00 defecto
0x23	5.0 V	0x00 defecto
0x24	12 V	0x00 defecto

Tabla 3. 2.

Estas medidas de tensión llevan asociados unos registros de límite de valor, los cuales pueden hacer saltar una señal de alerta en caso de excederlos. Se muestran en la Tabla 3.3.

Registro	Tensión	Límite	Valor
0x44	2.5 V	Inferior	0x00 defecto
0x45	2.5V	Superior	0xFF defeto
0x46	VCCP	Inferior	0x00 defecto
0x47	VCCP	Superior	0xFF defeto
0x48	VCC	Inferior	0x00 defecto
0x49	VCC	Superior	0xFF defeto
0x4A	5.0 V	Inferior	0x00 defecto
0x4B	5.0 V	Superior	0xFF defeto
0x4C	12 V	Inferior	0x00 defecto
0x4D	12 V	Superior	0xFF defeto

Tabla 3. 3.

Además, dispone de una resolución extendida gracias a los registros 0x76 y 0x77, los cuales están bloqueados hasta que su valor sea leído. Si la resolución extendida se requiere, entonces se lee primero el valor que corresponda de estos registros y acto seguido se lee el valor apropiado del registro de tensiones (del 0x20 al 0x24).

En el anexo 1 se pueden observar los valores del ADC para cada medida de tensiones.

3.1.2. Medición de la temperatura

3.1.2.1. Medida de la temperatura local

El monitor ADT7476A contiene un sensor térmico en el chip cuya salida es digitalizada por el convertidor ADC de 10 bits del monitor.

Los 8 bits más significativos son almacenados en los registros de temperatura 0x25, 0x26 y 0x27. Ambas temperaturas, positiva y negativa, se pueden medir en dos formatos diferentes Offset 64 y complemento a dos. En la Tabla 3.4. se muestran, los valores de la temperatura junto a su complemento a dos.

Temperature	Digital Output (10-Bit) (Note 1)
-128°C	1000 0000 00 (diode fault)
-50°C	1100 1110 00
-25°C	1110 0111 00
-10°C	1111 0110 00
0°C	0000 0000 00
+10.25°C	0000 1010 01
+25.5°C	0001 1001 10
+50.75°C	0011 0010 11
+75°C	0100 1011 00
+100°C	0110 0100 00
+125°C	0111 1101 00
+127°C	0111 1111 00

Tabla 3. 4.

3.1.2.2. Medida de la temperatura remota

El ADT7476A puede medir dos temperaturas remotas a través de sensores diodo o transistores conectados a los pines 17 y 18, o 15 y 16.

La tensión directa de un diodo o de los transistores de operar a una corriente constante exhibe un coeficiente de temperatura negativo de en torno $-2 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$. Desafortunadamente, el valor de VBE varía dependiendo del dispositivo, y se requiere de una calibración manual. La técnica utilizada en este monitor es medir el cambio en VBE cuando el dispositivo opera con dos corrientes diferentes.

3.1.2.3. Filtro de ruido

Para sensores de temperatura operando en entornos ruidosos, se recomienda instalar un condensador entre los pines de D+ y D- que permite reducir el ruido. No obstante, altas capacidades afectan a la precisión del sensor, no debiendo sobrepasar los 1000 pF.

Este condensador reduce el ruido pero no lo elimina, lo cual provoca un difícil uso en un entorno muy ruidoso. En la mayoría de los casos, no se requiere condensador porque las entradas diferenciales, por su propia naturaleza, tienen una alta inmunidad al ruido.

El ADT7476A tiene registros de offset de temperatura (0x70 y 0x72) para los canales de temperatura remota 1 y 2. Haciendo una calibración del sistema, el usuario puede determinar el offset causado por el ruido y eliminarlo utilizando los registros de offset.

Cambiando el bit 1 del registro de configuración 5 (0x7c) cambia la resolución y por lo tanto, el rango de la temperatura de offset ya sea tomando un rango de -63°C a +127°C con una resolución de 1°C o un rango de -63°C a +64°C con una resolución de 0.5°C. Esta temperatura de offset puede ser usada para compensar un error lineal de temperatura introducido por ruido. Sus registros son:

Registro 0x70, Offset de la Temperatura Remota 1 = 0x00 (0°C defecto)

Registro 0x71, Offset de la Temperatura Local = 0x00 (0°C defecto)

Registro 0x72, Offset de la Temperatura Remota 2 = 0x00 (0°C defecto)

Activando el bit 0 del registro de configuración 5 (0x7c), todas las medidas de temperatura son almacenadas en los registros de las temperaturas en complemento a dos en un rango de -63°C a +127°C. Sus registros son:

Registro 0x25, Temperatura Remota 1

Registro 0x26, Temperatura Local

Registro 0x27, Temperatura Remota 2

Registro 0x77, Resolución Extendida 2 = 0x00 defecto

3.1.3. Medida de la velocidad

Para la medida de la velocidad de los diferentes ventiladores se debe leer el valor de los siguientes registros.

Registro 0x28, Inferior Byte TACH1= 0x00 defecto

Registro 0x29, Superior Byte TACH1= 0x00 defecto

Registro 0x2A, Inferior Byte TACH2= 0x00 defecto

Registro 0x2B, Superior Byte TACH2= 0x00 defecto

Registro 0x2C, Inferior Byte TACH3= 0x00 defecto

Registro 0x2D, Superior Byte TACH3= 0x00 defecto

Registro 0x2E, Inferior Byte TACH4= 0x00 defecto

Registro 0x2F, Superior Byte TACH4= 0x00 defecto

El valor dado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Fan Speed (RPM)} = (90,000 \times 60) / \text{Fan TACH Reading}$$

Siendo Fan TACH Reading, el valor del byte superior seguido del inferior convertido a decimal. El resultado saldrá en RPM.

3.1.4. Límites, registros de estado e interruptores

Cabe destacar la posibilidad de establecer límites en los valores de las medidas, a través de los cuales gobernar posibles señales de interrupción. Los registros de 8 bits de tales límites son:

Límite de Registros de Tensión

Registro 0x44, 2.5 V Límite Inferior = 0x00 defecto
Registro 0x45, 2.5 V Límite Superior = 0xFF defecto
Registro 0x46, VCCP Límite Inferior = 0x00 defecto
Registro 0x47, VCCP Límite Superior = 0xFF defecto
Registro 0x48, VCC Límite Inferior = 0x00 defecto
Registro 0x49, VCC Límite Superior = 0xFF defecto
Registro 0x4A, 5.0 V Límite Inferior = 0x00 defecto
Registro 0x4B, 5.0 V Límite Superior = 0xFF defecto
Registro 0x4C, 12 V Límite Inferior = 0x00 defecto
Registro 0x4D, 12 V Límite Superior = 0xFF defecto

Límite de Registros de Temperatura

Registro 0x4E, Temperatura Remota 1 Límite Inferior = 0x81 defecto
Registro 0x4F, Remota 1 Temperatura Límite Superior = 0x7F defecto
Registro 0x6A, THERM Remoto 1 Límite = 0x64 defecto
Registro 0x50, Temperatura Local Límite Inferior = 0x81 defecto
Registro 0x51, Temperatura Local Límite Superior = 0x7F defecto
Registro 0x6B, THERM Local Límite = 0x64 defecto
Registro 0x52, Temperatura Remota 2 Límite Inferior = 0x81 defecto
Registro 0x53, Temperatura Remota 2 Límite Superior = 0x7F defecto
Registro 0x6C, THERM Remoto 2 Límite = 0x64 defecto

Límite de Registro de THERM Timer

Registro 0x7A, THERM Timer Límite = 0x00 defecto.

Para registros de 16 bits, sus límites son:

Registro de Límite de Ventilador

Registro 0x54, TACH1 Byte Mínimo Inferior = 0xFF defecto
Registro 0x55, TACH1 Byte Mínimo Superior = 0xFF defecto
Registro 0x56, TACH2 Byte Mínimo Inferior = 0xFF defecto
Registro 0x57, TACH2 Byte Mínimo Superior = 0xFF defecto
Registro 0x58, TACH3 Byte Mínimo Inferior = 0xFF defecto
Registro 0x59, TACH3 Byte Mínimo Superior = 0xFF defecto
Registro 0x5A, TACH4 Byte Mínimo Inferior = 0xFF defecto
Registro 0x5B, TACH4 Byte Mínimo Superior = 0xFF defecto

Registros de estado

Una vez establecidos los valores límites de las medidas, se procede a su comparación y su resultado se refleja en el Registro de Interrupción de Estado 1 y 2. Cuando la medida supera ese límite, el correspondiente registro de estado se establece a uno, y cuando el límite no es alcanzado el registro se pone a 0.

El estado de la monitorización se puede leer, pues, en el registro de estado a través del bus serie. En el bit 7 (OOL) del Registro de Estado de Interrupción 1 (0x41) un 1 nos indica que el Registro de Estado de Interrupción 2 ha detectado un valor fuera de límite. Lo que quiere decir que el usuario debe leer también el Registro de Estado de Interrupción 2 (0x42).

Alternativamente, se puede configurar el pin 10 o el pin 14 como una salida de SMBALERT. Esta señal, activa por nivel bajo, notifica automáticamente que se ha sobrepasado el límite de alguna variable.

Registro de Estado de Interrupción 1 (0x41)

Bit 7 (OOL) = 1, denota que un bit en el Registro de Interruptor de Estado 2 se ha activado y el mismo registro debe leerse.

Bit 6 (R2T) = 1, el límite inferior o Superior de la Temperatura Remota 2 ha sido excedido.

Bit 5 (LT) = 1, el límite inferior o Superior de la Temperatura Local ha sido excedido.

Bit 4 (R1T) = 1, el límite inferior o Superior de la Temperatura Remota 1 ha sido excedido.

Bit 3 (5.0 V) = 1, el límite inferior o Superior de 5.0 V ha sido excedido.

Bit 2 (VCC) = 1, el límite inferior o Superior de VCC ha sido excedido.

Bit 1 (VCCP) = 1, el límite inferior o Superior de VCCP ha sido excedido.

Bit 0 (2.5 V) = 1, el límite inferior o Superior de 2.5 V ha sido excedido.

Si la entrada de 2.5 V está configurada como THERM, este bit representa el estado de THERM.

Registro de Estado de Interrupción 2 (0x42)

Bit 7 (D2) = 1, indica un corto o circuito abierto en las entradas D2+/D2-.

Bit 6 (D1) = 1, indica un corto o circuito abierto en las entradas D1+/D1-.

Bit 5 (F4P) = 1, indica que la velocidad del ventilador 4 ha caído por debajo de la mínima velocidad. Alternativamente, indica que el límite de THERM ha sido excedido, si la función THERM es usada. Alternativamente, indica el estado de GPIO6.

Alternativamente, indica el estado de GPIO6.

Bit 4 (FAN3) = 1, indica que la velocidad del ventilador 3 ha caído por debajo de la velocidad mínima.

Bit 3 (FAN2) = 1, indica que la velocidad del ventilador 2 ha caído por debajo de la velocidad mínima.

Bit 2 (FAN1) = 1, indica que la velocidad del ventilador 1 ha caído por debajo de la velocidad mínima.

Bit 1 (OVT) = 1, indica que un límite de sobre temperatura se ha alcanzado en THERM.

Bit 0 (12V/VC) = 1, indica que un límite inferior o Superior de 12V ha sido excedido. Si la función de código de cambio de VID es usada, este bit indica un cambio en el código VID en las entradas de VID0 a VID4.

No obstante, para programar estas alertas debemos enmascarar previamente las señales a comparar. Para ello recurrimos al Registro de Enmascarado de Interruptor (0x74 y 0x75), dependiendo de los valores que le damos, enmascaramos unas variables u otras.

Registro de Enmascarado de Interruptor 1 (0x74)

Bit 7 (OOL) = 1, enmascara la señal SMBALERT para cualquier condición de alerta marcada en el Registro de Estado de Interrupción 2.

Bit 6 (R2T) = 1, enmascara SMBALERT para la temperatura Remota 2.

Bit 5 (LT) = 1, enmascara SMBALERT para temperatura local.

Bit 4 (R1T) = 1, enmascara SMBALERT para temperatura Remota 1.

Bit 3 (5.0 V) = 1, enmascara SMBALERT para canal 5.0 V.

Bit 2 (VCC) = 1, enmascara SMBALERT para canal VCC.

Bit 1 (VCCP) = 1, enmascara SMBALERT para canal VCCP.

Bit 0 (2.5V) = 1, enmascara SMBALERT para 2.5VIN/ THERM.

Registro de Enmascaramiento de Interruptor 2 (0x75)

Bit 7 (D2) = 1, enmascara SMBALERT para errores en el Diodo 2.

Bit 6 (D1) = 1, enmascara SMBALERT para errores en el Diodo 1.

Bit 5 (FAN4) = 1, enmascara SMBALERT para fallos en el ventilador 4.

Si el tacómetro 4 está siendo usado como entrada THERM, este bit enmascara SMBALERT para eventos THERM. Si el pin del tacómetro 4 está siendo usado como GPIO6, activar este bit enmascara el interruptor relacionado con GPIO6.

Bit 4 (FAN3) = 1, enmascara SMBALERT para el ventilador 3.

Bit 3 (FAN2) = 1, enmascara SMBALERT para el ventilador 2.

Bit 2 (FAN1) = 1, enmascara SMBALERT para el ventilador 1.

Bit 1 (OVT) = 1, enmascara SMBALERT para sobre temperatura (excediendo los límites de la temperatura THERM).

Bit 0 (12V/VC) = 1, enmascara SMBALERT para el canal de 12 V o para un cambio de código VID, dependiendo de la función usada.

No obstante, hay que establecer la señal de SMBALERT en un pin, el cual podrá ser el pin 10 o 14.

Para configurarlo como pin 10 se deberá de poner a 1 el bit 0 del registro 0x78. De lo contrario, el pin 10 funcionará como PWM2.

Por otro lado, el pin 14 puede tomar diferentes valores, dependiendo del valor que se da a los dos últimos bits del registro 0x7D, llamado Registro de configuración 4, las variables para cada valor se muestran en la tabla 3.5.

Bit 1	Bit 0	Function
0	0	TACH4
0	1	THERM
1	0	SMBALERT
1	1	GPIO6

Tabla 3. 5.

3.2. Forma de utilización

A continuación se describe el funcionamiento del monitor y cómo se debe de implementar para diferentes configuraciones o el control de varios ventiladores.

➤ Paso 1: Configuración de hardware

En el primer paso se debe discernir cuáles de las capacidades del monitor se usarán. Algunas de las cuales son el uso de PWM2 o SMBALERT, TACH4 o función THERM, monitorización de 2.5V o función THERM, monitorización de 12V o entrada VID5. Todos estos pines son reconfigurables a través de software.

También se debe decidir cuántos ventiladores llevará nuestro sistema, si serán controlados por el monitor o si trabajarán a toda velocidad y dónde irá colocado en el sistema el monitor.

La implementación recomendada 1 se muestra en la figura 3.3.

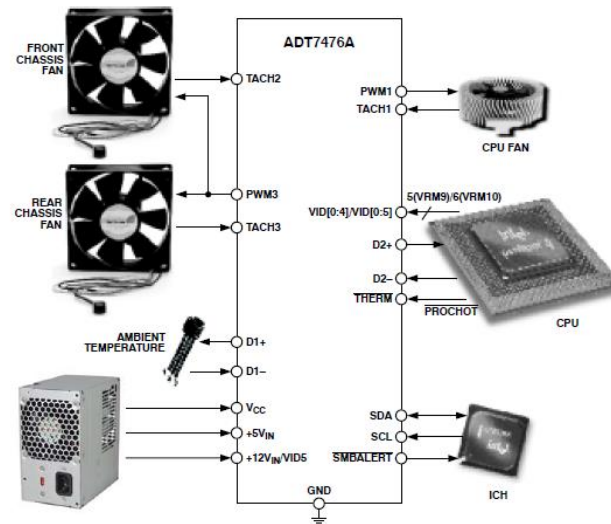


Figura 3. 3.

Donde se observa que la señal PWM3 controla dos ventiladores, trasero y delantero. Además, la salida PWM1 controla el ventilador de la CPU. Los sensores remotos están colocados en D1, que mide la temperatura ambiente, y en D2, que mide la temperatura de la CPU.

Por otro lado, la salida PROCHOT de la CPU se conecta a la entrada de THERM igualmente pasa con la salida de VRM como entrada VID del monitor.

El microprocesador ICH se conecta a SDA, SCL y SMBALERT.

Por último, la fuente de alimentación se conecta con las entradas V_{CC}, 5V_{IN}, 12V_{IN}/VID5.

La implementación recomendada 2 es prácticamente la misma, con la diferencia de que el control del ventilador frontal se hace ahora con la señal de salida PWM2. Se muestra en la figura 3.4.

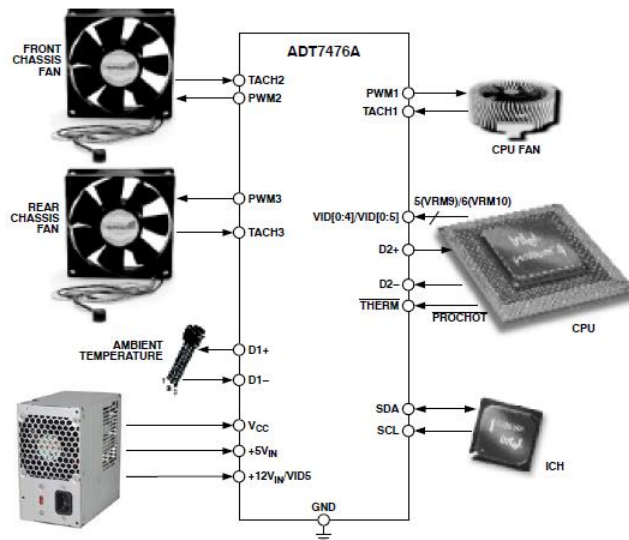


Figura 3. 4.

➤ Paso 2: Configuración del multiplexor

Después de la configuración del hardware, se debe configurar el comportamiento de los ventiladores; por ejemplo, pueden funcionar bajo control automático, manualmente, o a la máxima velocidad calculada por múltiples canales de temperatura. El MUX es el puente de conexión entre la temperatura de los canales y la tres salidas PWM. El comportamiento se define a través de los registros 0x5C, 0x5D, y 0x5E, para PWM1, PWM2 y PWM3, respectivamente. Según el valor de los bits [7:5]:

000 = Temperatura remota 1 controla PWMx

001 = Temperatura Local controla PWMx

010 = Temperatura Remota 2 controla PWMx

101 = Velocidad más rápida calculada por la temperatura Local y Remota 2 controla PWMx

110 = Velocidad más rápida calculada por los tres canales de temperatura controla PWMx

011 = PWMx funciona a toda velocidad

100 = PWMx desactivada

111 = Modo manual. PWMx funciona bajo control de software. En este modo, el ciclo de trabajo de PWM es establecido gracias a los registros 0x30 a 0x32 que controlan la salida de PWM.

➤ Paso 3: Configuración de T_{MIN} para calibración térmica

El siguiente paso es establecer la T_{MIN} , para el valor de la cual el ventilador empieza a funcionar de modo automático. La velocidad a la cual el ventilador comienza a funcionar es programada posteriormente. Este valor es programado para cualquiera de los canales de temperatura. Una vez estas temperaturas bajan el apagado del ventilador se dará cuando se alcance la temperatura $T_{MIN}-T_{HYST}$, cuyo valor se configura posteriormente.

Para establecer el valor de T_{MIN} se hace gracias a los registros:

Registro 0x67, Temperatura Remota 1 TMIN = 0x5A (90°C)
Registro 0x68, Temperatura Local TMIN = 0x5A (90°C)
Registro 0x69, Temperatura Remota 2 TMIN = 0x5A (90°C)

Si se quiere que a esta temperatura el ventilador se ponga en funcionamiento con la PWM_{MIN} se deben activar los registros que se requieran.

Bit 7 (MIN3) = 0, PWM3 está apagado (0% PWM ciclo de trabajo) cuando la temperatura está por debajo de TMIN – THYST.

Bit 7 (MIN3) = 1, PWM3 funciona al mínimo ciclo de trabajo de PWM3 bajo TMIN – THYST.

Bit 6 (MIN2) = 0, PWM2 está apagado (0% PWM ciclo de trabajo) cuando la temperatura está bajo TMIN – THYST.

Bit 6 (MIN2) = 1, PWM2 funciona al mínimo ciclo de trabajo de PWM2 bajo TMIN – THYST.

Bit 5 (MIN1) = 0, PWM1 está apagado (0% PWM ciclo de trabajo) cuando la temperatura está bajo TMIN – THYST.

Bit 5 (MIN1) = 1, PWM1 funciona al mínimo ciclo de trabajo de PWM1 bajo TMIN – THYST.

➤ Paso 4: PWM_{MIN} para cada salida PWM

PWM_{MIN} es el mínimo ciclo de trabajo al cual cada ventilador funciona en el sistema. Es también el comienzo de la velocidad del ventilador una vez la T_{MIN} es superada. Este valor suele ser del 20% o el 33% dependiendo del ventilador usado. Para establecer este valor, se utiliza la fórmula:

$$\text{Valor (decimal)} = \text{PWM}_{\text{MIN}}/0.39$$

Donde PWM_{MIN} es el valor deseado. Se debe convertir ese Valor a hexadecimal y escribirlo en los registros:

Registro 0x64, ciclo de trabajo mínimo PWM1 = 0x80 (50% defecto)

Registro 0x65, ciclo de trabajo mínimo PWM2 = 0x80 (50% defecto)

Registro 0x66, ciclo de trabajo mínimo PWM3 = 0x80 (50% defecto)

Se hace notar que este valor no corresponde al valor de la velocidad mínima a la que funciona el ventilador, ya que la relación entre ambos valores es cuadrática:

$$\% \text{ Velocidad} = \sqrt{\text{DC} \times 10}$$

➤ Paso 5: PWM_{MAX} para cada salida PWM

PWM_{MAX} es el máximo ciclo de trabajo bajo el cual cada ventilador del sistema funciona bajo el control automático. Para mantener un nivel de ruido acústico bajo, este valor debe ser el menor al cual se garantice la seguridad térmica del procesador en un nivel aceptable. Si el nivel de temperatura THERM es excedido el ventilador funciona con un ciclo de trabajo del 100% como protección.

De la misma forma que antes, este valor se debe introducir en los registros mediante la fórmula:

$$\text{Valor (decimal)} = \text{PWM}_{\text{MAX}}/0.39$$

Y los registros del PWM_{MAX} son:

Registro 0x38, ciclo máximo de trabajo PWM1 = 0xFF (100% defecto)

Registro 0x39, ciclo máximo de trabajo PWM2 = 0xFF (100% defecto)

Registro 0x3A, ciclo máximo de trabajo PWM3 = 0xFF (100% defecto)

➤ Paso 6: T_{RANGE} para canales de temperatura

T_{RANGE} es la temperatura que controla el comportamiento del ventilador cuando se ha superado la temperatura T_{MIN} . Cuanto menor sea este valor, mayor será la variación que experimenta la salida PWM ante una variación de la temperatura que controla el ventilador.

La pendiente de la recta marcada por T_{RANGE} será $(T_{\text{MIN}} + T_{\text{RANGE}})/\text{PWM}100\%$ y sus valores vienen dados en la tabla 3.6.

Bits [7:4] (Note 1)	T_{RANGE} (°C)
0000	2
0001	2.5
0010	3.33
0011	4
0100	5
0101	6.67
0110	8
0111	10
1000	13.33
1001	16
1010	20
1011	26.67
1100	32 (default)
1101	40
1110	53.33
1111	80

Tabla 3. 6.

En la figura 3.5. gráfica se ve la variación del ciclo de trabajo de PWM para diferentes valores de T_{MIN} según el T_{RANGE} elegido.

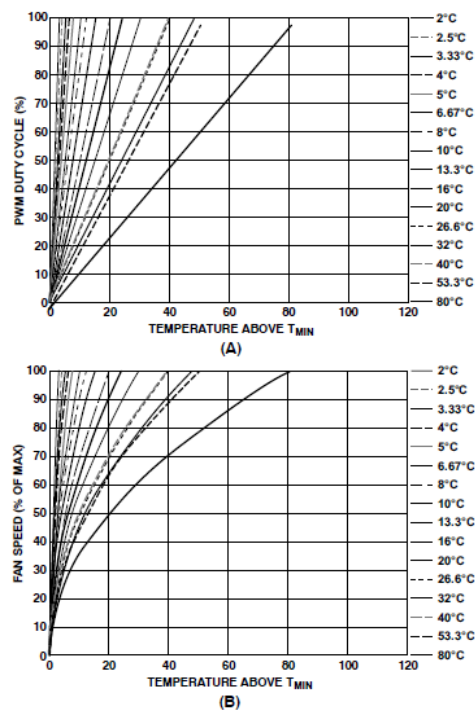


Figura 3. 5.

Es interesante destacar, cómo en la gráfica inferior se observa cómo la velocidad tiene una relación cuadrática respecto al valor de PWM.

El valor se introduce en los bits [7:4] de los registros 0x5F, 0x60 y 0x61 para los canales de temperatura remota 1, local y remota 2 respectivamente.

➤ Paso 7: T_{THERM} para canales de temperatura

La T_{THERM} es la temperatura máxima permitida en un canal de temperatura. A partir de este valor el componente puede operar bajo su propio límite de operación. Cuando la temperatura medida excede T_{THERM} todos los ventiladores funcionan al 100% de su ciclo de trabajo de PWM para proporcionar un sistema crítico de enfriamiento.

Una vez alcanzada esta temperatura el 100% del ciclo de trabajo permanecerá hasta que no se alcance en el canal una temperatura inferior a $T_{THERM} - T_{HYST}$.

Los registros utilizados para variar este valor son:

Registro 0x6A, Límite THERM para temperatura Remota 1 = 0x64 (100°C default)

Registro 0x6B, Límite THERM para temperatura Local = 0x64 (100°C default)

Registro 0x6C, Límite THERM para temperatura Remota 2 = 0x64 (100°C default)

No obstante se debe configurar el valor de THERM, para que corresponda a la señal que estamos controlando, a través de los 3MSB del registro 0x7C, mostrados en la tabla 3.7.

0x7C	RW	Configuration Register 5	R2 THERM	Local THERM	R1 THERM	VID/ GPIO	GPIO6P	GPIO6D	Temp Offset	2sC	0x01	Yes
------	----	--------------------------	----------	-------------	----------	-----------	--------	--------	-------------	-----	------	-----

Tabla 3. 7.

Una vez establecido este valor, nuestra curva de calibración, debe quedar de la siguiente manera, con todos los valores anteriores:

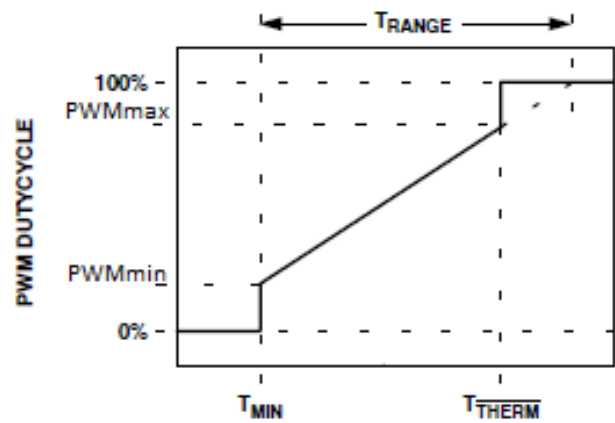


Figura 3. 6.

➤ Paso 8: T_{HYST} para canales de temperatura

T_{HYST} es la cantidad de enfriamiento que proporciona el ventilador después de que la temperatura medida ha descendido por debajo de T_{MIN} o T_{THERM} , según proceda. Es decir, que el ventilador no se apaga hasta que se alcanza la temperatura establecida menos el valor de T_{HYST} . Este valor es por defecto 4°C, pero se puede programar en un rango de 1°C a 15°C.

Registro 0x6D, Histéresis de la Temperatura Remota 1 y Local
 [7:4], Histéresis en la temperatura Remota 1(4°C default).
 [3:0], Histéresis en la temperatura Local (4°C default).

Registro 0x6E, Histéresis de la Temperatura Remota 2
 [7:4], Histéresis en la temperatura Remota 2 (4°C default).

4. Aplicación práctica

Para comprobar el funcionamiento de este tipo de dispositivos se empleará sobre un circuito de altas prestaciones, del cual nos interesará monitorizar la tensión y la temperatura, llegando a controlar un ventilador como sistema de refrigeración cuando sobrepase ciertas temperaturas. El funcionamiento se ha descrito anteriormente, con sus registros y sus configuraciones más importantes, por lo que, a continuación, se explica el modelo sobre el cual se ha desarrollado la aplicación y posteriormente el programa de aplicación.

4. 1. Sistema de aplicación

El sistema de aplicación será una placa base FPGA para aplicación en sistemas GRID. Cabe destacar que éste es un proyecto desarrollado anteriormente por la Universidad Carlos III de Madrid, que se complementa con la monitorización de tensión y temperatura, el control del ventilador y señales de interrupción en condiciones de fuera de límites.

El diagrama de bloques de la placa es se presenta en la figura 4.1.:

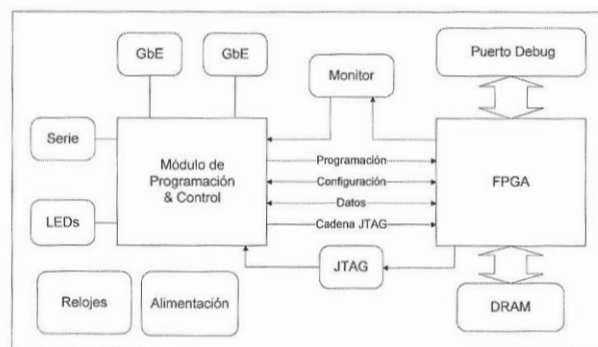


Figura 4. 1.

Se pueden observar los bloques más relevantes en esta aplicación, como son el Puerto Debug, la FPGA, el monitor, el JTAG y el Módulo de programación y control.



Figura 4. 2.

4.1.1. Monitor ADT7476A

El monitor utilizado es el ADT7476A, el cual va conectado, en los pines 1 y 2, al I2C de datos y de reloj, respectivamente. En el pin 3 se conecta la masa, junto con los pines 5, 7, 8, 9 y 12, dejando estas entradas inutilizadas, pues para el sistema no son requeridas.

Además, al pin 6 se conecta la señal de control del ventilador FAN_CNTRL_GPIO1. En el pin 10 se conecta el FAN_ALERT_B. El pin 11 recibe la señal de tacómetro del ventilador. Los pines 13 y 19 irán, como antes, a tierra directamente y el pin 14 va en serie con una resistencia a tierra. Los pines 16 y 15, correspondientes a la entrada del sensor de diodo de temperatura, se dejan en circuito abierto, pues para el sistema no se requieren dos mediciones de temperatura remota. En los pines 17 y 18 se conecta el sensor de diodo térmico, el cual mide la temperatura en la FPGA. El pin 20 es la entrada de la tensión de Vcc5, al igual que el pin 22 se conecta a Vcc1V8. El pin 21, correspondiente a la tensión de 12V se deja desconectada. El pin 23 se conecta a VCCINT, cuya tensión es monitorizada. Y por último, el pin 24 corresponde a la salida de la señal de PWM1, el cual controla el ciclo de trabajo del ventilador, conectándolo a la puerta de un transistor que permite el paso de la corriente a tierra del ventilador, permitiéndole girar a más o menos revoluciones según el ciclo de trabajo. El ventilador, además de las dos señales descritas, se conecta a una tensión de alimentación de 5V.

Se puede observar un esquemático de conexión en el anexo 2.

4.1.2. FPGA

La FPGA utilizada es la XC5VLX110 de la marca Xilinx, de la familia Virtex 5.



Figura 4. 3.

Las FPGAs son una alternativa a la tecnología programable ASIC. Los diseños de sistemas más avanzados requieren la fuerza programable de FPGAs. Las FPGAs de la familia Virtex-5 ofrecen la mejor solución para hacer frente a las necesidades de los diseñadores de alto rendimiento de la lógica, los diseñadores DSP de alto rendimiento y diseñadores de alto rendimiento de sistemas embebidos con lógica sin precedentes, DSP, microprocesador duro / blando, y las capacidades de conectividad. El Virtex-5 LXT, SXT, TXT y plataformas FXT incluyen conectividad serial de alta velocidad avanzada y capacidad de la capa de enlace o transacción.

Estas FPGAs utilizan la segunda generación ASMBL basada en una arquitectura de columnas. Además de la estructura lógica más avanzada de alto rendimiento, contienen muchos bloques a nivel de sistema hard-IP, incluyendo un potente bloque de 36Kbit de RAM/FIFOs, DSP slices 25x18 de segunda generación, tecnología SelectIO con un control digital de la impedancia, bloques ChipSync de interfaz síncrona de fuente, funcionalidad de sistema de monitor, mejora de la gestión del reloj con DCM (Digital Clock Management) integrado y generador de reloj PLL (phase-locked-loop), y opciones de configuración avanzadas.

Sus principales características son:

- Cinco plataformas LX, LXT, SXT, TXT y FXT
 - Virtex-5 LX: aplicaciones generales lógicas de alto rendimiento
 - Virtex-5 LXT: lógica de alto rendimiento con conectividad serie avanzada
 - Virtex-5 SXT: aplicaciones de procesamiento de señales de alto rendimiento con conectividad serie avanzada

- Virtex-5 TXT: sistemas de alto rendimiento de doble densidad con conectividad serie avanzada
- Virtex-5 FXT: sistemas integrados de alto rendimiento con conectividad serie avanzada
- Tecnología SelectIO paralela de alto rendimiento
 - Operación I / O de 1.2 a 3.3V
 - Interconexión de fuente-sincrónica utilizando la tecnología ChipSync™
 - Impedancia controlada digitalmente (DCI) activa terminación
 - Granulado fino flexible del banco de I / O
 - Soporte de interfaz de memoria de alta velocidad
- PowerPC 440 Microprocesadores
 - Sólo plataforma FXT
 - Arquitectura RISC
 - Conducto 7 etapas
 - Instrucción de 32 Kbytes y cachés de datos incluidos
 - Optimización de la estructura de interfaz de procesador (crossbar)
- Tensión del núcleo de 1,0 V
- La señal de integridad de envases de alta flip-chip disponible en opción de encapsulado estándar o de Pb-libre

Sus características específicas se presentan en la tabla 4.1.:

Device	Configurable Logic Blocks (CLBs)			DSP48E Slices ⁽²⁾	Block RAM Blocks			CMTs ⁽⁴⁾	PowerPC Processor Blocks	Endpoint Blocks for PCI Express	Ethernet MACs ⁽⁵⁾	Max RocketIO Transceivers ⁽⁶⁾		Total I/O Banks ⁽⁸⁾	Max User I/O ⁽⁷⁾
	Array (Row x Col)	Virtex-5 Slices ⁽¹⁾	Max Distributed RAM (Kb)		18 Kb ⁽³⁾	36 Kb	Max (Kb)					GTP	GTX		
XC5VLX110	160 x 54	17,280	1,120	64	256	128	4,608	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23	800

Tabla 4. 1.

4.1.3. Power PC

El microprocesador utilizado que lleva a cabo todo el control del sistema es un Power PC 440EPx.



Figura 4. 4.

Ha sido diseñado para aplicaciones integradas de alta calidad. El PowerPC 440EPx (PPC440EPx) proporciona una solución de alto rendimiento y bajo consumo de energía que se conecta a una amplia gama de periféricos e incorpora características de administración de energía en el chip.

Este chip contiene un procesador de alto rendimiento RISC, en el chip SRAM, una unidad de coma flotante, controlador de SDRAM, interfaz bus PCI, control de ROM externa y los dispositivos periféricos, DMA con soporte scatter / gather, puertos Ethernet, puertos serie, interfaces IIC, interfaz de SPI, puertos USB, interfaz NAND Flash, una característica opcional de seguridad (PPC440EPx-S), y puertos de entrada salida de propósito general.

Sus características generales son:

- Procesador PowerPC® 440 operando hasta 667 MHz, con 32 KB de I-cache y D-cache con la comprobación de paridad.
- Interfaz PCI V2.2 (sólo 3,3 V). Treinta y dos bits a velocidades de hasta 66MHz.
- Dos interfaces IIC (una con capacidad de leer parámetro de arranque).
- Disponible en conformidad con RoHS, encapsulado libre de plomo.

Encapsulado: 35 mm, 680-ball térmicamente mejorado ball grid array plástico (TE-EPBGA). Encapsulado compatible con RoHS disponible.

Potencia: Menos de 3W a 533MHz.

Tensiones de alimentación: 3.3V, 2.5V, 1.8V (DDR2) o 2.5V (DDR1), 1.5V.

Su diagrama de bloques funcional se muestra en la figura 4.5.

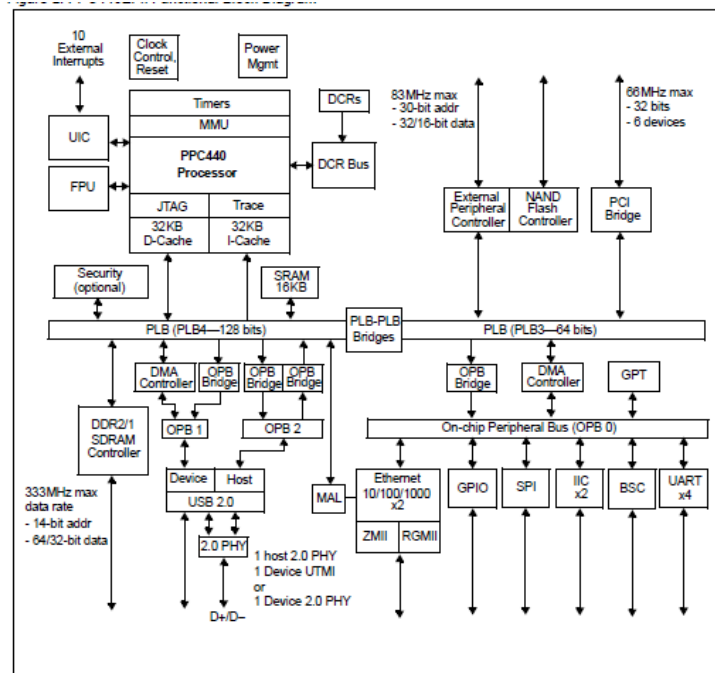


Figura 4. 5.

4.1.4. Placa

La placa utilizada ha sido desarrollada en la Universidad Carlos III de Madrid. Como se puede observar cuenta con un microprocesador POWER PC, la FPGA de Xilinx, el monitor ADT7476A, un conector para el ventilador, la conexión Debug, diferentes Led y conexiones.



Figura 4. 6.

4.1.5. Alimentación

La alimentación de la placa es una fuente de alimentación a 5V y 1A de corriente continua como la de la figura 4.7.



Figura 4. 7.

4.1.6. Ventilador

Se trata de un ventilador de la marca Sanyo modelo 109P0405H601, de 5 V de tensión de alimentación y 0,32A de corriente continua. El ventilador dispone de tres patillas: roja, para la alimentación, negra, para tierra, y amarilla, para la medida del tacómetro.



Figura 4. 8.

Tiene una potencia de 1.6W y una velocidad máxima de 8000 RPM. Su flujo de aire máximo es de $0.225 \text{ m}^3/\text{min}$ y una presión estática máxima de 65.7 Pa. Con un ruido de 33 dB(A), un rango de -10 a 70°C y una vida esperada de 40000 horas. Sus dimensiones están detalladas en la figura 4.9.

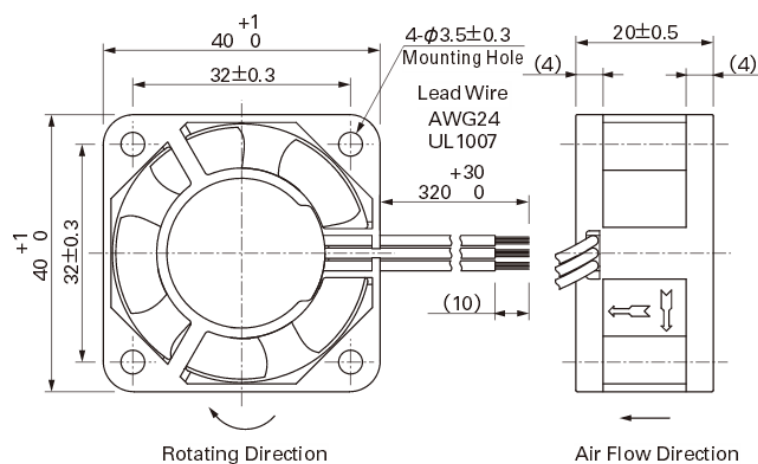


Figura 4. 9.

4.2. Programa de aplicación

El programa de aplicación se ha desarrollado como un script que se ejecuta en el microprocesador en modo de depuración para comprobar los resultados. Una vez depurado el script, es inmediato pasarlo a un código C que se ejecutaría desde el microprocesador.

4.2.1. Entorno (Trace 32)

El entorno utilizado es el programa Trace 32 de Lauterbach. En él se consigue mandar los comandos descritos anteriormente haciendo uso de la función Run Batchfile. Gracias a este software se puede acceder a través del debug al microprocesador, mandando las órdenes pertinentes de configuración al monitor.

4.2.2. Debug

Para hacer posible la conexión del ordenador a nuestra FPGA se necesita un depurador conectado al puerto de depuración de la placa, que a su vez está conectado al interfaz de depuración del procesador... Este Depurador es de Lauterbach igualmente. Su conexión al ordenador consta de un cable USB A-B de hasta 480Mbps.

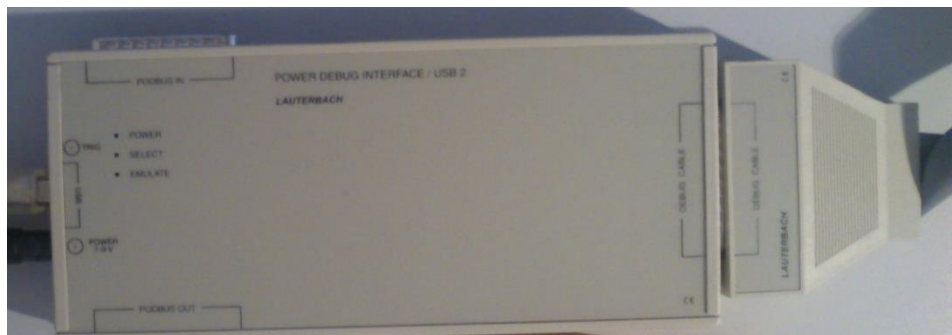


Figura 4. 10.

4.2.3. Script

En primer lugar, se deben inicializar parámetros como la dirección del dispositivo, inicialización del I2C, divisor del reloj y registro de configuración, como se muestra en la figura 4. 11.

```

// *** Inicializacion ***

area.view

system.cpu ppc440epx
SYSTEM.BDMCLOCK 10.MHz

//Cadena JTAG (PPC y FPGA)
system.multicore.irpre 10.
system.multicore.irpost 0.
system.multicore.drpre 1.
system.multicore.drpost 0.
system.multicore.core 1. 1.

system.up
SYSTEM.CPUACCESS ENABLE
wait 1.s

//SDR0_PFC4
PER.S.SI DCR:0x0E %L 0x4104 0x4104 DCR:0x0F %LONG 0x80000000

//IIC0_LMADR (direccion del dispositivo)
PER.S AD:0x1:0xEF600704 %BYTE 0x58

//Reset I2C IIC0_XTCNTLSS[SRPST]
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x1
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x0
wait 1.s

//IIC0_CLKDIV (divisor del reloj)
PER.S AD:0x1:0xEF60070C %BYTE 0x8

//IIC0_MDCNTL (registro de configuracion)
PER.S AD:0x1:0xEF600707 %BYTE 0x13

```

Figura 4. 11.

Acto seguido se debe activar el monitor. Para ello se recurre al registro 0x40 y se pone un 1.

```

// *** Escritura en el hwmon - activacion hwmon ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x40
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

Figura 4. 12.

El registro de control permite enviar el valor, de lo contrario no enviaría nada a través del puerto de depuración.

A continuación, dependiendo del resultado deseado, se recurre a unos u otros registros.

4.2.3.1. Monitorización de la tensión

Para monitorizar la tensión, se accede a los registros 0x20 para 2.5VIN, 0x21 para Vccp, 0x22 para Vcc, 0x23 para 5VIN y 0x24 para 12VIN.

```
// *** Lectura del hwmon - voltaje 2.5V ***

//IICO_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x20

//IICO_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IICO_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje Vccp ***

//IICO_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x21

//IICO_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IICO_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

Figura 4. 13.

```

// *** Lectura del hwmon - voltaje Vcc ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x22

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje 5.0V ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x23

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje 12V ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x24

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

```

Figura 4. 14.

4.2.3.2. Monitorización de la temperatura

Los valores a medir de la temperatura son la temperatura remota 1 y local. Para ello, se accede a los registros 0x25 y 0x26, respectivamente.

```
// *** Lectura del hwmon - temperatura FPGA ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x25

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - temperatura local ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x26

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

Figura 4. 15.

4.2.3.3. Configuración del ventilador

4.2.3.3.1. A toda velocidad

Para configurar la señal de PWM1 y que el ventilador funcione a toda velocidad se envía el valor 0x62 al registro 0x5C.


```
// *** Configuración PWM1 FULL SPEED ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x62

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 16.

4.2.3.3.2. Control manual

Para configurar la señal de PWM1 para que el ventilador funcione bajo una señal de PWM establecida de forma manual se debe configurar mediante el registro 0x5C poniéndole el valor de 0xE2 y mandarle el valor deseado al registro 0x30, en este caso 0x80 (50%). Este valor es establecido, convertido a hexadecimal, según la ecuación:

Valor (decimal) = PWM/0.39

```
// *** Configuración PWM1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xE2

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Valor PWM1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x30
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x80 // 50%

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 17.

Y después se mandará la señal de activación del monitor, descrita anteriormente.

4.2.3.3.3. Control automático

Para el control automático se deben establecer los valores del procedimiento descrito en el apartado “3.2 Forma de utilización” a partir del paso 2. Se pueden realizar dos controles diferentes para la temperatura Remota 1 o Local. Seguidamente se describe el control basado en la temperatura Remota 1.

En primer lugar, configuramos la señal PWM para que actúe de forma automática según la **temperatura remota 1**.

```
// Configuración de PWM1
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x2

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 18.

Acto seguido la configuración del límite THERM, registro 0x7C:

```
// Configuración de THERM
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x7c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x21

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 19.

Y por último se da a los registros explicados los valores deseados de nuestra curva de calibración, en este caso los valores vienen comentados al lado en la figura 4.20.

```

// *** Escritura del hwmon - Temperatura REMOTE 1 Tmin ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x67
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x23 //35°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - PWM1 minimo***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x66
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x54//33%

//IIC0_CNTL (registro de control)
//PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - PWM1 maximo***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x38
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xCD //80%

//IIC0_CNTL (registro de control)
//PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - T RANGE ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5F
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xA0 //20°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - Temperatura REMOTE 1 THERM Limit
***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x6a
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x37//44°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

Figura 4. 20.

Por último se envía la señal de activación del monitor.

Se describe seguidamente el mismo proceso para el caso en que la **temperatura local** sea la que controle el movimiento del ventilador.

De la misma forma, se configura la PWM1 para que sea controlada a través de la temperatura local.

```

// Configuración de PWM1
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x22

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

Figura 4. 21.

Seguidamente, la configuración de la variable THERM:

```

// Configuración de THERM
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x7c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x41

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

Figura 4. 22.

A continuación, los valores a cada uno de las variables de la curva de calibración:

```

// *** Escritura del hwmon - Temperatura Local Tmin ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x68
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x23 //35°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - PWM1 minimo***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x66
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xF0//33%

//IIC0_CNTL (registro de control)
//PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - PWM1 maximo***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x38
//PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xCD //80%

//IIC0_CNTL (registro de control)
//PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - T RANGE ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x60
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xF4 //80°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura del hwmon - Temperatura Local THERM Limit ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x6B
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x2A//42°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

Figura 4. 23.

Y se envía el código de activación del monitor.

4.2.3.4. Señales de interrupción

Para enviar señales de interrupción con condiciones de sobre límite, se utilizan los registros 0x74 y 0x75 de enmascaramiento para configurar la señal a tener en cuenta, en este caso la temperatura remota 1, para ello se escriben los valores 0xef y 0xff respectivamente.

```
/** CONFIGURACIÓN SMBALERT INTERRUPTIÓN **/  
  
// Configuración señal a tener en cuenta (RT1)  
// IIC0_MDBUF (escritura de dirección a escribir)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x74  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xef  
  
// IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11  
  
// Configuración señal a tener en cuenta  
// IIC0_MDBUF (escritura de dirección a escribir)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x75  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xff  
  
// IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 24.

Acto seguido, se establecen los valores de límite superior e inferior.

```
// Valor de la señal (RT1 Low) de interrupción  
// IIC0_MDBUF (escritura de dirección a escribir)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x4E  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x1E // 30°C  
  
// IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11  
  
// Valor de la señal (RT1 High) de interrupción  
// IIC0_MDBUF (escritura de dirección a escribir)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x4F  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x2C // 25-44°C 32-50°C  
  
// IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 25.

Si se quiere que la interrupción salte con la variable de temperatura local se deben reconfigurar los registros, según la tabla 4.26.

```
// Configuración señal a tener en cuenta (Local)
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x74
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xdf

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Configuración señal a tener en cuenta
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x75
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xff

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Valor de la señal(LT Low) de interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x50
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x1E //30°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Valor de la señal(LT High) de interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x51
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x2C //2c-44°C 32-50°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 26.

Y se configura el Pin 10 para que muestre la interrupción, gracias al registro 0x78.

```
// Configuración PIN 10 Interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x78
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

Figura 4. 27.

Por último, activamos el monitor.

También se puede observar el estado de la interrupción con una lectura de los registros 0x41 y 0x42:

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x41

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del estado de interrupción 2 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x42

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

Figura 4. 28.

5. Conclusiones

En este trabajo de fin de grado se han realizado por cuentas separadas tres trabajos:

El estudio sobre monitores, escudriñando las diferentes características que nos ofrecen las marcas del mercado, pudiendo servir como estudio a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones al elegir entre un monitor u otro para la monitorización de sistemas de altas prestaciones.

Por otro lado, se ha analizado en gran profundidad el comportamiento, funcionamiento y configuración del monitor ADT7476A, realizando para ello un amplio estudio sobre sus registros, las diferentes configuraciones de los mismos y los comportamientos que puede presentar, tales como el empleo de varios ventiladores o el uso de uno solo, así como las señales de interrupción en condiciones fuera de límites.

Y por último, se ha aplicado lo visto en este estudio en un caso práctico: el control de un ventilador para una placa desarrollada en la Universidad Carlos III de Madrid, con una FPGA, un sistema embebido Power PC y diferentes periféricos.

La importancia de este tipo de dispositivos es tal que, sin ellos, los dispositivos que hoy en día utilizamos fracasarían, sufrirían sobrecalentamientos y producirían resultados defectuosos o simplemente se estropearían rápidamente, etc. Por ello, este estudio es de gran aplicación en prácticamente cualquier sistema hasta que no se consiga la reducción del consumo de energía por parte de los aparatos electrónicos, que derivan, por el efecto Joule, en la producción de calor.

En opinión del autor, ha sido un trabajo arduo, de constante búsqueda de información de dispositivos, descripciones, etc., pero interesante, pues se aprende algo de gran aplicación como son este tipo de dispositivos, de los cuales no se tendría noticia en el grado de no ser por este tipo de estudios.

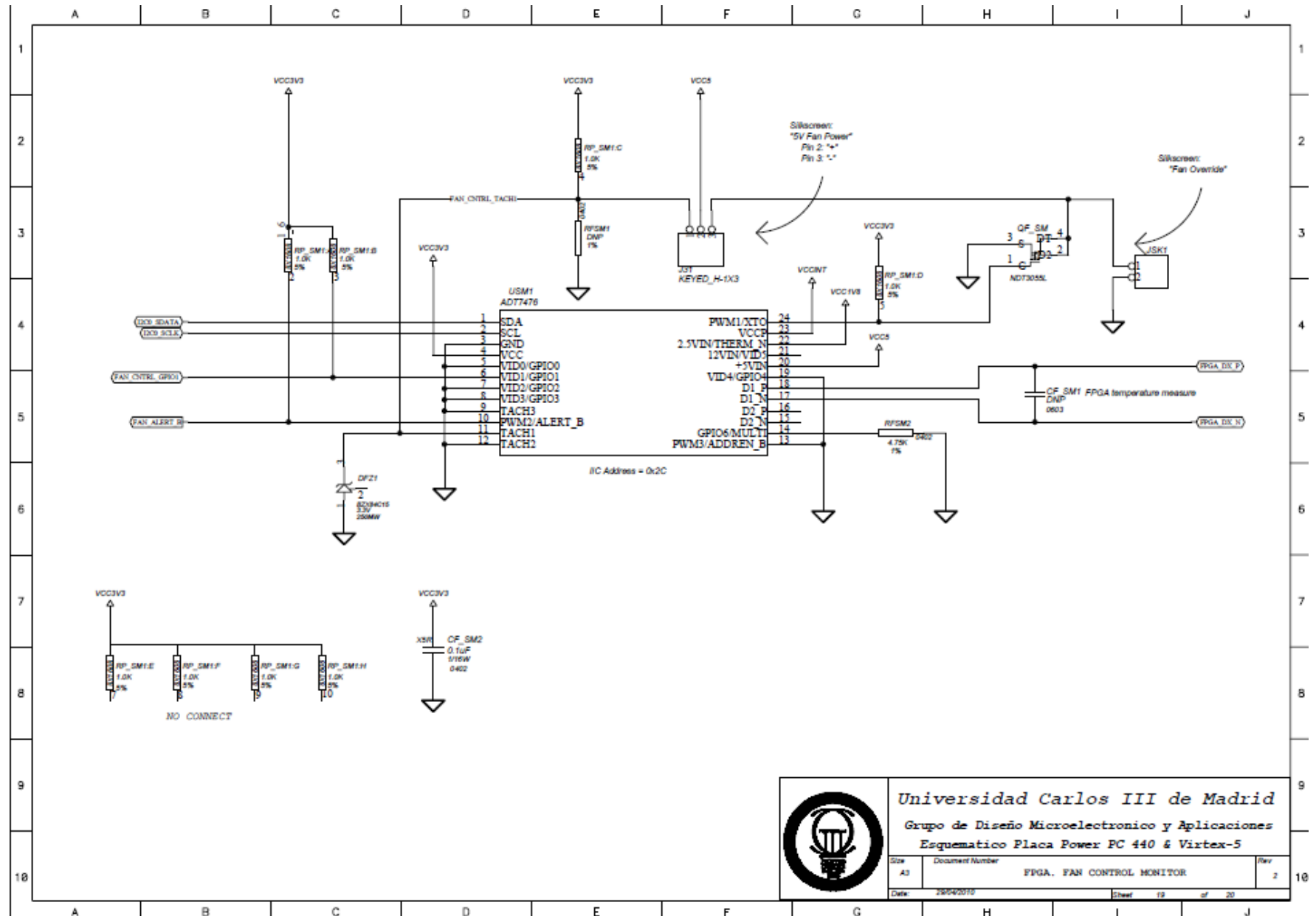
Por otro lado, genera gran satisfacción llegar a dominar un campo tan específico y tan obtuso para los estudiantes, pero a la vez de tan amplia aplicación en el mundo electrónico. Y no sólo electrónico, pues el principio de funcionamiento es el mismo que usan los automóviles, aunque con otros sistemas de medición y monitorización.

6. Anexos

6.1. Anexo 1- Tablas de valores de las diferentes tensiones

Input Voltage						ADC Output	
12 V _{IN}	5.0 V _{IN}	V _{CC} (3.3 V _{IN})	2.5 V _{IN}	V _{CCP}	V _{TT/IMON}	Decimal	Binary (10 Bits)
<0.0156	<0.0065	<0.0042	<0.0032	<0.00283	<0.00220	0	00000000 00
0.0156 to 0.0312	0.0065 to 0.0130	0.0042 to 0.0085	0.0032 to 0.0065	0.00283 to 0.0056	0.00220 to 0.00440	1	00000000 01
0.0312 to 0.0469	0.0130 to 0.0195	0.0085 to 0.0128	0.0065 to 0.0097	0.0056 to 0.0087	0.00440 to 0.00660	2	00000000 10
0.0469 to 0.0625	0.0195 to 0.0260	0.0128 to 0.0171	0.0097 to 0.0130	0.0087 to 0.0117	0.00660 to 0.00881	3	00000000 11
0.0625 to 0.0781	0.0260 to 0.0325	0.0171 to 0.0214	0.0130 to 0.0162	0.0117 to 0.0146	0.00881 to 0.01100	4	00000001 00
0.0781 to 0.0937	0.0325 to 0.0390	0.0214 to 0.0257	0.0162 to 0.0195	0.0146 to 0.0175	0.01100 to 0.01320	5	00000001 01
0.0937 to 0.1093	0.0390 to 0.0455	0.0257 to 0.0300	0.0195 to 0.0227	0.0175 to 0.0205	0.01320 to 0.01541	6	00000001 10
0.1093 to 0.1250	0.0455 to 0.0521	0.0300 to 0.0343	0.0227 to 0.0260	0.0205 to 0.0234	0.01541 to 0.01761	7	00000001 11
0.1250 to 0.1406	0.0521 to 0.0586	0.0343 to 0.0386	0.0260 to 0.0292	0.0234 to 0.0263	0.01761 to 0.01981	8	00000010 00
-	-	-	-	-	-	-	-
4.0000 to 4.0156	1.6675 to 1.6740	1.1000 to 1.1042	0.8325 to 0.8357	0.7500 to 0.7529	0.5636 to 0.5658	256 (1/4 scale)	01000000 00
-	-	-	-	-	-	-	-
8.0000 to 8.0156	3.3300 to 3.3415	2.2000-2.204 2	1.6650 to 1.6682	1.5000 to 1.5029	1.1272 to 1.1294	512 (1/2 scale)	10000000 00
-	-	-	-	-	-	-	-
12.0000 to 12.0156	5.0025 to 5.0090	3.3000 to 3.3042	2.4875 to 2.5007	2.2500 to 2.2529	1.6809 to 1.6830	768 (3/4 scale)	11000000 00
-	-	-	-	-	-	-	-
15.8281 to 15.8437	6.5983 to 6.6048	4.3527 to 4.3570	3.2942 to 3.2974	2.9677 to 2.9707	2.2301 to 2.2323	1013	11111101 01
15.8437 to 15.8593	6.6048 to 6.6113	4.3570 to 4.3613	3.2974 to 3.3007	2.9707 to 2.9736	2.2323 to 2.2346	1014	11111101 10
15.8593 to 15.8750	6.6113 to 6.6178	4.3613 to 4.3656	3.3007 to 3.3039	2.9736 to 2.9765	2.2346 to 2.2368	1015	11111101 11
15.8750 to 15.8906	6.6178 to 6.6244	4.3656 to 4.3699	3.3039 to 3.3072	2.9765 to 2.9794	2.2368 to 2.2389	1016	11111110 00
15.8906 to 15.9062	6.6244 to 6.6309	4.3699 to 4.3742	3.3072 to 3.3104	2.9794 to 2.9824	2.2389 to 2.2412	1017	11111110 01
15.9062 to 15.9218	6.6309 to 6.6374	4.3742 to 4.3785	3.3104 to 3.3137	2.9824 to 2.9853	2.2412 to 2.2434	1018	11111110 10
15.9218 to 15.9375	6.6374 to 6.6439	4.3785 to 4.3828	3.3137 to 3.3169	2.9853 to 2.9882	2.2434 to 2.2456	1019	11111110 11
15.9375 to 15.9531	6.6439 to 6.6504	4.3828 to 4.3871	3.3169 to 3.3202	2.9882 to 2.9912	2.2456 to 2.2478	1020	11111111 00
15.9531 to 15.9687	6.6504 to 6.6569	4.3871 to 4.3914	3.3202 to 3.3234	2.9912 to 2.9941	2.2478 to 2.25	1021	11111111 01
15.9687 to 15.9843	6.6569 to 6.6634	4.3914 to 4.3957	3.3234 to 3.3267	2.9941 to 2.9970	2.25 to 2.2522	1022	11111111 10
>15.9843	>6.6634	>4.3957	>3.3267	>2.9970	>2.2522	1023	11111111 11

6.2. Anexo 2- Esquemático de conexiones del monitor



6.3. Anexo 3 - Scripts de funcionamiento

6.3.1. Script de la monitorización de tensiones y temperaturas

```
// Arranca hwmon escribiendo en reg 0x40 = 0x1
// Lee valor temperatura (hexadecimal) de reg 0x25 (FPGA) y 0x26
(Local).

// *** Inicializacion ***

area.view

system.cpu ppc440epx
SYSTEM.BDMCLOCK 10.MHz

//Cadena JTAG (PPC y FPGA)
system.multicore.irpre 10.
system.multicore.irpost 0.
system.multicore.drpre 1.
system.multicore.drpost 0.
system.multicore.core 1. 1.

system.up
SYSTEM.CPUACCESS ENABLE
wait 1.s

//SDR0_PFC4
PER.S _SI DCR:0x0E %L 0x4104 0x4104 DCR:0x0F %LONG 0x80000000

//IIC0_LMADR (direccion del dispositivo)
PER.S _AD:0x1:0xEF600704 %BYTE 0x58

//Reset I2C IIC0_XTCNTLSS[SRPST]
PER.S _AD:0x1:0xEF60070F 0x1
wait 1.s
PER.S _AD:0x1:0xEF60070F 0x0
wait 1.s

//IIC0_CLKDIV (divisor del reloj)
PER.S _AD:0x1:0xEF60070C %BYTE 0x8

//IIC0_MDCNTL (registro de configuracion)
PER.S _AD:0x1:0xEF600707 %BYTE 0x13

// *** Escritura en el hwmon - activacion hwmon ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S _AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x40
PER.S _AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S _AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

```
// *** Lectura del hwmon - temperatura FPGA ***
```

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x25
```

```
//IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD  
wait 1.s  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3
```

```
//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)  
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

```
// *** Lectura del hwmon - temperatura local ***
```

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x26
```

```
//IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD  
wait 1.s  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3
```

```
//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)  
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

```
// *** Lectura del hwmon - voltaje 2.5V ***
```

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x20
```

```
//IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD  
wait 1.s  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3
```

```
//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)  
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

```
// *** Lectura del hwmon - voltaje Vccp ***
```

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)  
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x21
```

```
//IIC0_CNTL (registro de control)  
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD  
wait 1.s
```

```

PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje Vcc ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x22

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje 5.0V ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x23

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - voltaje 12V ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x24

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

```

6.3.2. Script de control automático del ventilador

```
// Arranca hwmon escribiendo en reg 0x40 = 0x1
// Lee valor temperatura (hexadecimal) de reg 0x25 (FPGA) y 0x26
(Local).

// *** Inicializacion ***

area.view

system.cpu ppc440epx
SYSTEM.BDMCLOCK 10.MHz

//Cadena JTAG (PPC y FPGA)
system.multicore.irpre 10.
system.multicore.irpost 0.
system.multicore.drpre 1.
system.multicore.drpost 0.
system.multicore.core 1. 1.

system.up
SYSTEM.CPUACCESS ENABLE
wait 1.s

//SDR0_PFC4
PER.S.SI DCR:0x0E %L 0x4104 0x4104 DCR:0x0F %LONG 0x80000000

//IIC0_LMADR (direccion del dispositivo)
PER.S AD:0x1:0xEF600704 %BYTE 0x58

//Reset I2C IIC0_XTCNTLSS[SRPST]
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x1
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x0
wait 1.s

//IIC0_CLKDIV (divisor del reloj)
PER.S AD:0x1:0xEF60070C %BYTE 0x8

//IIC0_MDCNTL (registro de configuracion)
PER.S AD:0x1:0xEF600707 %BYTE 0x13

// *** Configuración PWM1 FULL SPEED ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x62

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura en el hwmon - activacion hwmon ***
```

```
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x40
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11
```

6.3.3. Script de control manual del ventilador

```
// Arranca hwmon escribiendo en reg 0x40 = 0x1
// Lee valor temperatura (hexadecimal) de reg 0x25 (FPGA) y 0x26
(Local).

// *** Inicializacion ***

area.view

system.cpu ppc440epx
SYSTEM.BDMCLOCK 10.MHz

//Cadena JTAG (PPC y FPGA)
system.multicore.irpre 10.
system.multicore.irpost 0.
system.multicore.drpre 1.
system.multicore.drpost 0.
system.multicore.core 1. 1.

system.up
SYSTEM.CPUACCESS ENABLE
wait 1.s

//SDR0_PFC4
PER.S.SI DCR:0x0E %L 0x4104 0x4104 DCR:0x0F %LONG 0x80000000

//IIC0_LMADR (direccion del dispositivo)
PER.S AD:0x1:0xEF600704 %BYTE 0x58

//Reset I2C IIC0_XTCNTLSS[SRPST]
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x1
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x0
wait 1.s

//IIC0_CLKDIV (divisor del reloj)
PER.S AD:0x1:0xEF60070C %BYTE 0x8

//IIC0_MDCNTL (registro de configuracion)
PER.S AD:0x1:0xEF600707 %BYTE 0x13

// *** Configuración PWM1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
```



```

PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xE2

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Valor PWM1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x30
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x80 // 50%

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura en el hwmon - activacion hwmon ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x40
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

6.3.4. Script del ventilador a máxima velocidad

```

// Arranca hwmon escribiendo en reg 0x40 = 0x1
// Lee valor temperatura (hexadecimal) de reg 0x25 (FPGA) y 0x26
(Local).

// *** Inicializacion ***

area.view

system.cpu ppc440epx
SYSTEM.BDMCLOCK 10.MHz

//Cadena JTAG (PPC y FPGA)
system.multicore.irpre 10.
system.multicore.irpost 0.
system.multicore.drpre 1.
system.multicore.drpost 0.
system.multicore.core 1. 1.

system.up
SYSTEM.CPUACCESS ENABLE
wait 1.s

//SDR0_PFC4
PER.S.SI DCR:0x0E %L 0x4104 0x4104 DCR:0x0F %LONG 0x80000000

```

```

//IIC0_LMADR (direccion del dispositivo)
PER.S AD:0x1:0xEF600704 %BYTE 0x58

//Reset I2C IIC0_XTCNTLSS[SRPST]
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x1
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF60070F 0x0
wait 1.s

//IIC0_CLKDIV (divisor del reloj)
PER.S AD:0x1:0xEF60070C %BYTE 0x8

//IIC0_MDCNTL (registro de configuracion)
PER.S AD:0x1:0xEF600707 %BYTE 0x13

// *** Configuración PWM1 FULL SPEED ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x5c
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x62

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Escritura en el hwmon - activacion hwmon ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion y del dato en la FIFO)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x40
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

```

6.3.5. Script de interrupción en el pin 10

```

//***CONFIGURACIÓN SMBALERT INTERRUPTIÓN***

// Configuración señal a tener en cuenta (RT1)
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x74
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xef

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Configuración señal a tener en cuenta
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x75
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0xff

//IIC0_CNTL (registro de control)

```

```

PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Valor de la señal(RT1 Low) de interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x4E
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x1E //30°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Valor de la señal(RT1 High) de interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x4F
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x2C //2c-44°C 32-50°C

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// Configuración PIN 10 Interrupción
//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a escribir)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x78
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x01

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x11

// *** Lectura del estado de interrupción 1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x41

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del estado de interrupción 2 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x42

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

```

6.3.6. Script lectura de velocidad

```
// *** Lectura del hwmon - TACH HIGH BYTE ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x29

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700

// *** Lectura del hwmon - TACH LOW BYTE ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x28

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```

6.3.7. Script lectura de PWM1

```
// *** Lectura del hwmon - PWM1 ***

//IIC0_MDBUF (escritura de direccion a leer)
PER.S AD:0x1:0xEF600700 %BYTE 0x30

//IIC0_CNTL (registro de control)
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0xD
wait 1.s
PER.S AD:0x1:0xEF600706 %BYTE 0x3

//IIC0_MDBUF (lectura del dato de la FIFO)
DATA.IN AD:0x1:0xEF600700
```